

Pratique de l'analyseur vectoriel HP 8410

Ebauche 4f
The last but not the least !

Préface

VNA = vector network analyseur (analyseur de réseau vectoriel)

Un VNA est un analyseur scalaire doté en plus d'une analyse sur la phase (module + argument)

- **Seul l'aspect PRATIQUE a été retenu, en particulier celui d'une indispensable bonne CALIBRATION**
- De nombreux d'articles ont été écrits sur ce sujet – en particulier l'indispensable note d'application 117-1
- Le lecteur se reportera à certaines références données en fin d'exposé

- 1- Banc de mesure
- 2- Calibration en réfléchi : adaptation et phase
- 3- Calibration en transmission
- 4- Variation du 0 dB gain après cal, fonction de la boîte de paramètres-S utilisée
- 5- Mesures comparatives sur préampli 118 MHz bande aviation
- 6- Mesures comparatives sur préampli mâ 432 MHz Strese
- 7- Mesures comparatives sur filtre à cavités Sercel 435MHz
- 8- Mesures comparatives sur « préampli » 2.3 GHz
- 9- Mesures sur yagi 2.3 GHz Tonna 25 éléments
- 10- Mesure de rotation de phase sur bretelles de raccordement de 4 yagis 2.3 GHz F9FT
- 11- Mesures sur la parabole « compagnie des compteurs »
- 12- Mesures comparatives sur « préampli » 10 GHz DB6NT
- 13- Amélioration de la dynamique originelle de mesure
- 14- Marqueurs de fréquence obtenus avec sweeps HP 8620 et HP 8350
- 15- Conclusions

1- Banc de mesure

HP 8410(a, b ou c)

Banc de mesure - aspect



HP 8350b

HP 8418

HP 8412

HP 8410

HP 8414

HP 8743b

Vobulateur
HP 8620 ou 8350

-6 <P-RF<15 dBm

Visu
phase et
magnitude

Visu polaire
(vectorielle)

Réflexion/transmission
+ ligne à retard

Vectoriel
HP 8410b
(VNA)

HP 8410(a, b ou c)

Banc de mesure - aspect



HP 8410(a, b ou c)

Banc de mesure – comment les éléments causent entre eux ?

Si l'ensemble HP 8410 + display polaire HP 8414 est utilisé tout SEUL, (+ transm/refl test-set) alors :

- aucun autre câble que le coaxial RF entre sweep et boîte réflexion / transmission n'est indispensable
- il permet immédiatement une calibration en phase correcte

La visu magnitude HP 8412 additionnelle nécessite au moins l'information sweep-out du vobulateur

- Les 2 visus magnitude HP 8412 et phase HP 8414 sont totalement interchangeables entre le HP 8410 et le 2ème mainframe HP 8418

HP 8410(a, b ou c)

Banc de mesure – principe de branchement avec visu phase / magnitude

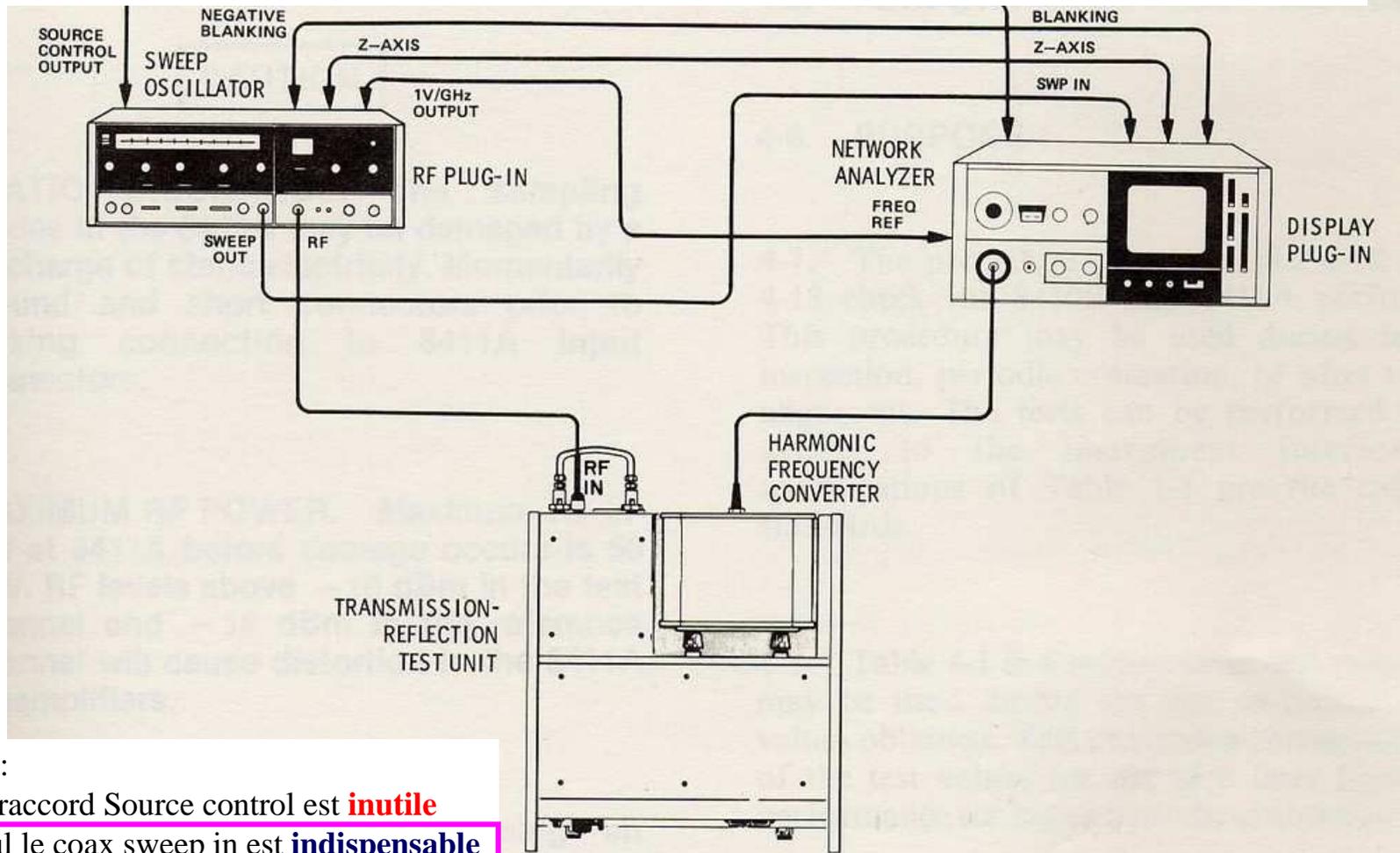
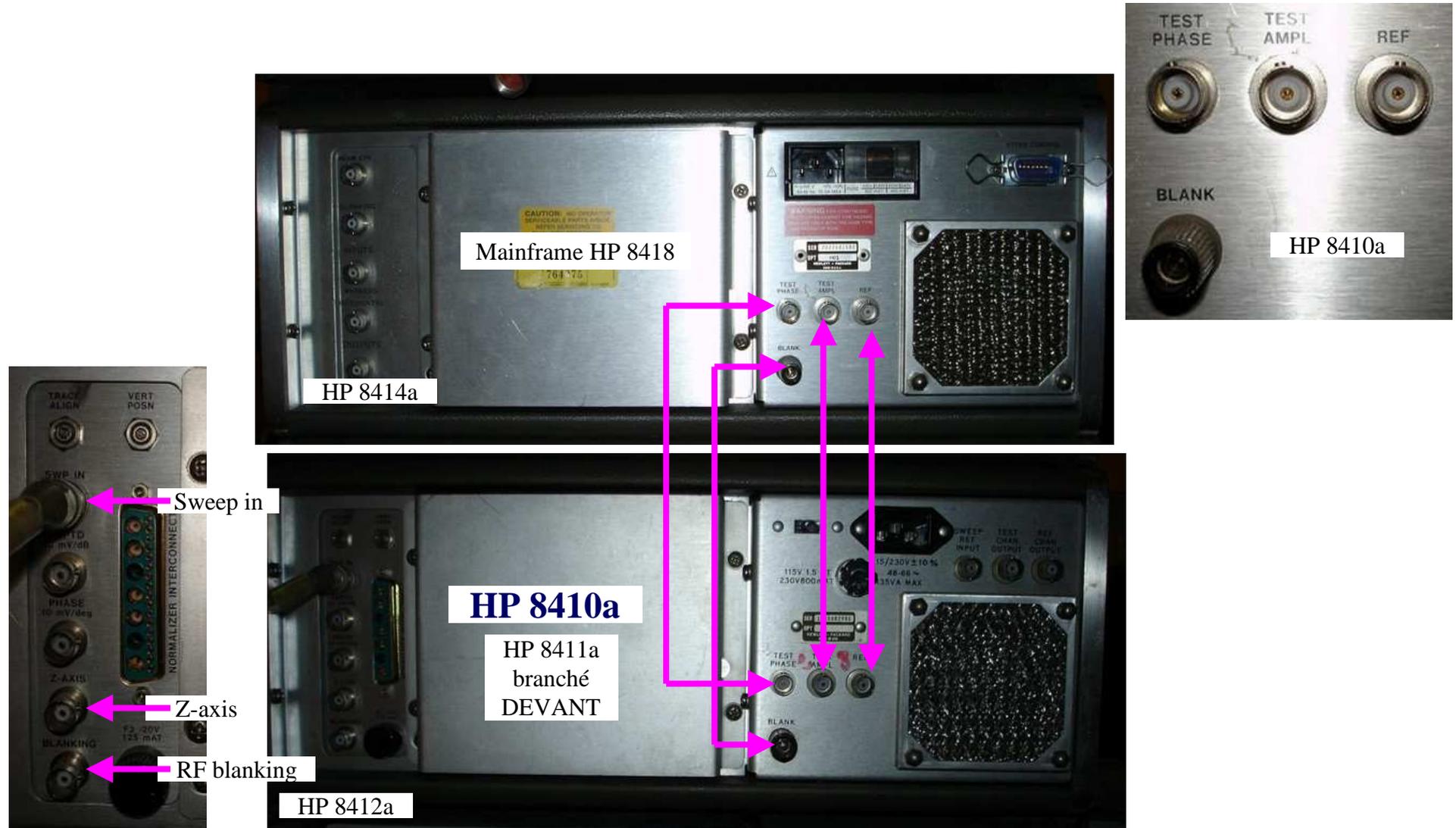


Figure 3-3. Typical Test Setup for Multi-octave Measurements

HP 8410(a, b ou c)

Banc de mesure – branchement complet



HP 8410(a, b ou c)

Différences entre modèles HP 8410 a, b (et c)

Le convertisseur harmonique de fréquences HP 8411a se branche :

-HP 8410a → **devant**

-HP 8410b → **à l'arrière** libérant ainsi l'espace avant de travail

Du coup l'idéal est de :

- posséder un tiroir de sweep avec **sortie arrière** !

- minimiser la distance entre sweep et pont directionnel (pertes RF minimales)

Le VNA HP 8410 peut ainsi être déporté loin du pont directionnel ($L_{max} = L_{câble}$ du HP 8746b)

	Fréquence	Connecteur HP 8411a	BNC sweep	BNC arrière chassis *
HP 8410a	0.5 – 12 GHz	devant	Sur magn display HP 8412a	3
HP 8410b	2 – 18 GHz	derrière (cache rond en face avant)	Aussi sur arrière chassis	4
HP 8410c	2 – 18 GHz	derrière	?	totalemnt automatisable

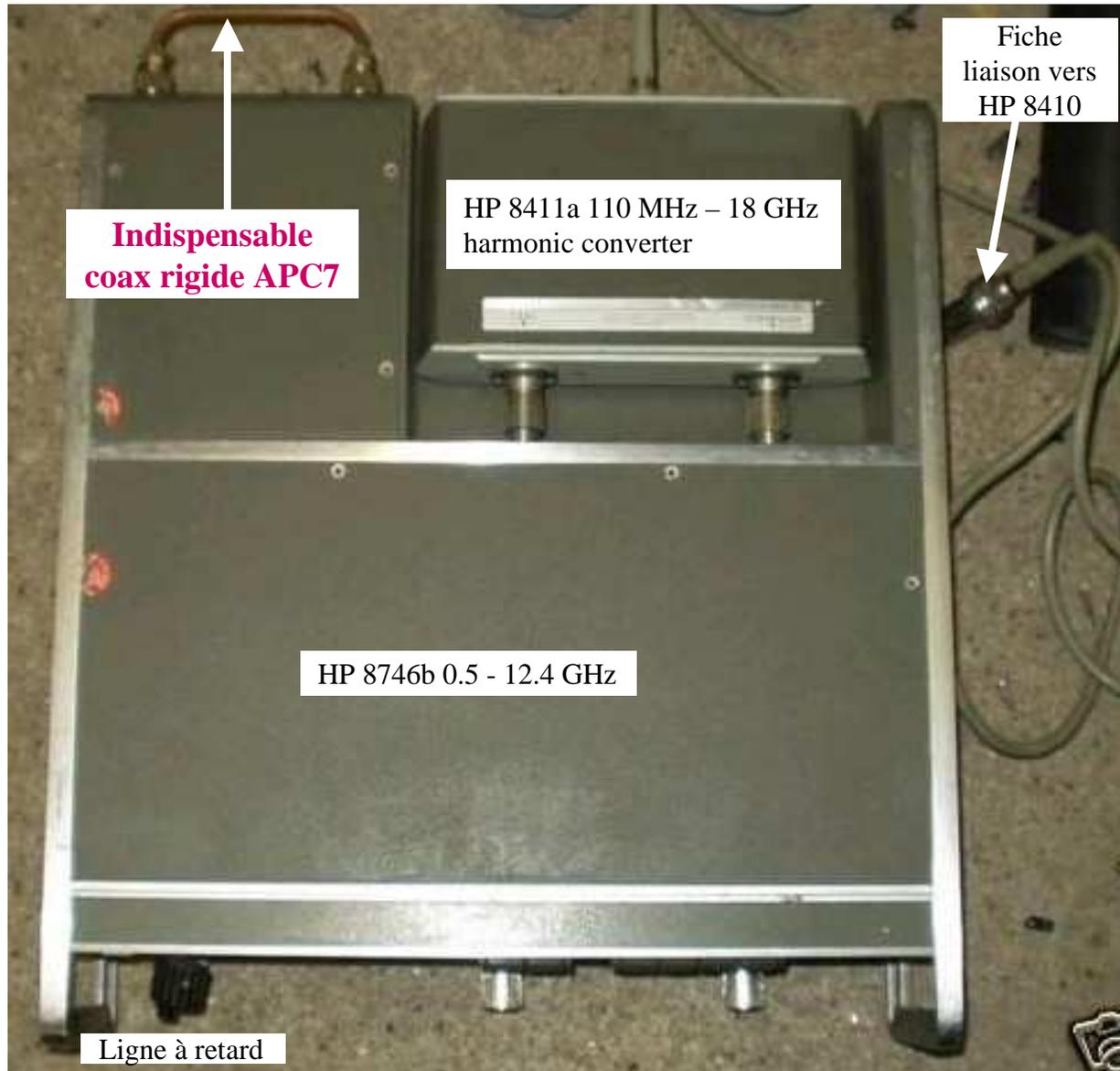
* Fiches BNC sur chassis du HP 8410:

- HP 8410a: 3 fiches BNC test phase – test ampl – Ref + fiche banane Blanking

- HP 8410b: 4ème fiche BNC sweep-in (idem à la BNC arrière du display HP 8412)

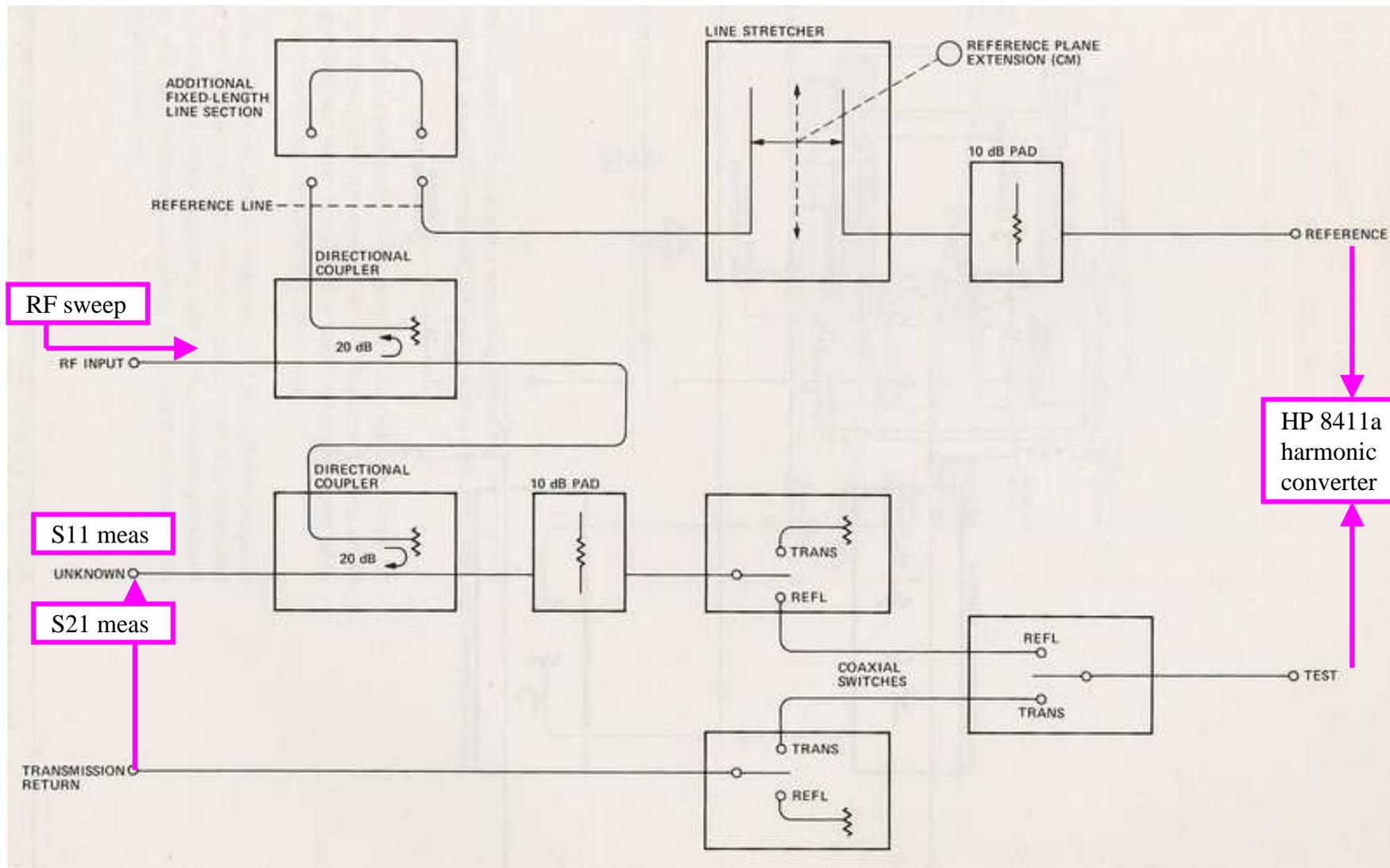
HP 8410(a, b or c)

Banc de mesures – pont directionnel transmission/réflexion



HP 8410(a, b or c)

Banc de mesures – schéma de principe RF du pont HP 8743a



HP 8410(a, b or c)

Banc de mesures – indispensable harmonic converter HP 8411a

HP 8411a harmonic frequency converter 110 MHz – 12.4 GHz : utilisé à l'arrière du HP 8746b

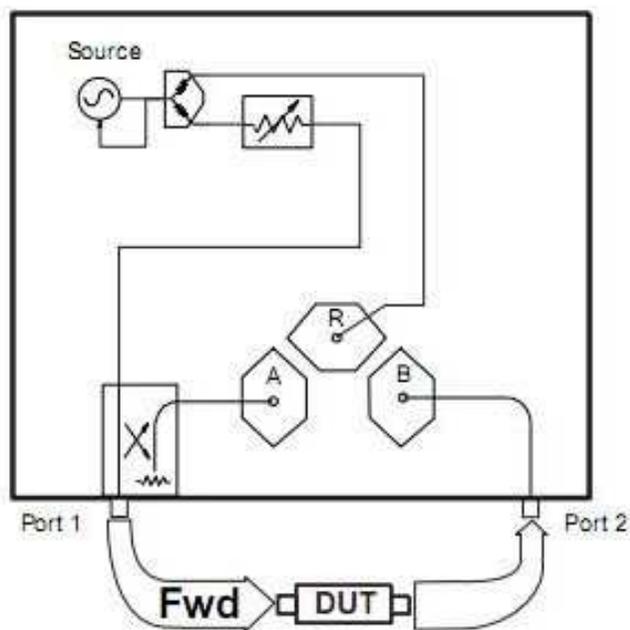


HP 8410(a, b or c)

Banc de mesures – 2 familles de ponts directionnels transmission/réflexion

HP 8743

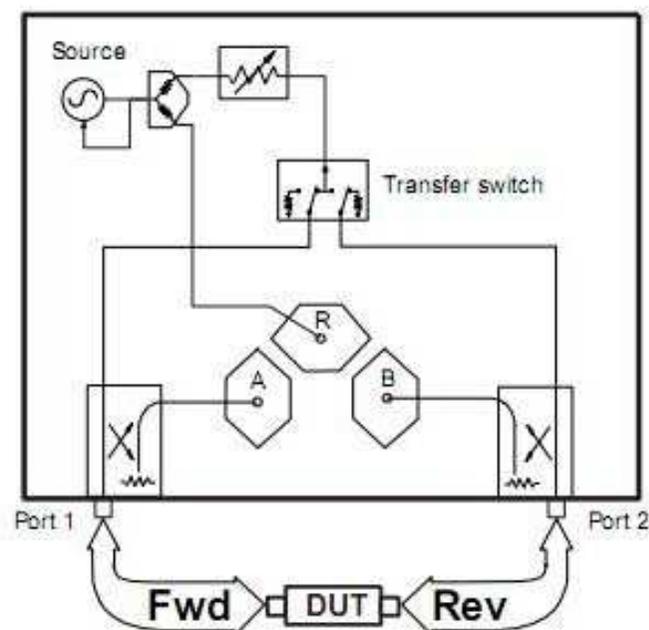
Transmission/Reflection Test Set



- RF power always comes out of port 1
- port 2 is always receiver
- **response, one-port** cal available

HP 8745 ou 8746

S-Parameter Test Set

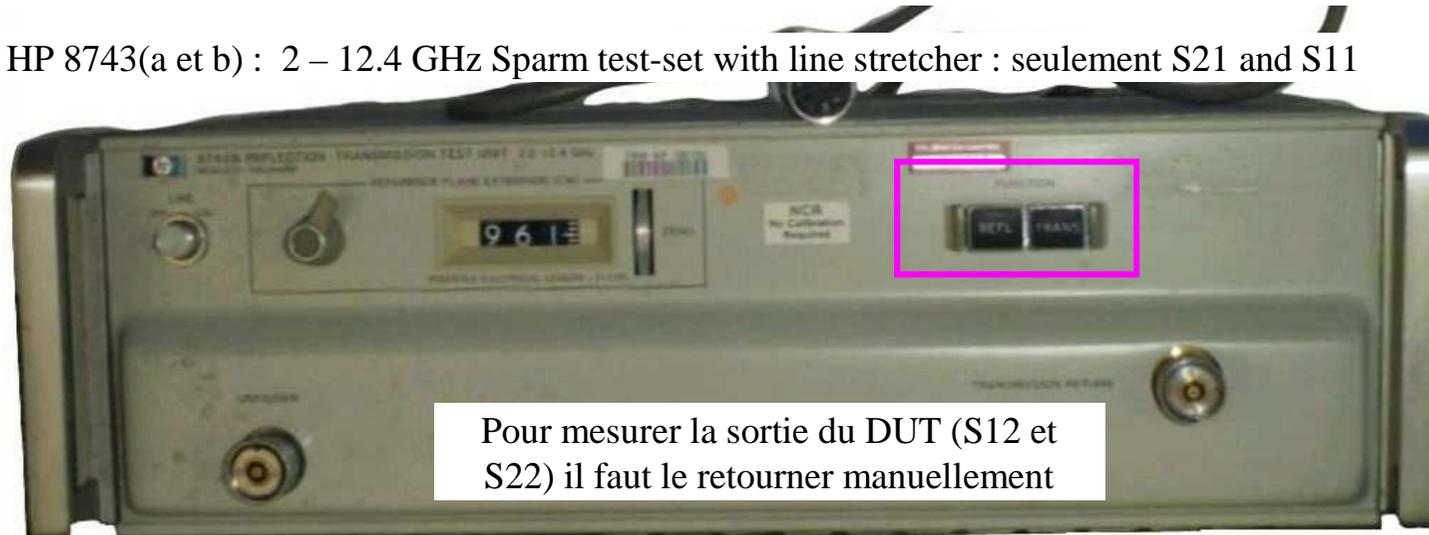


- RF power comes out of port 1 or port 2
- forward and reverse measurements
- **two-port** calibration possible

HP 8410(a, b or c)

Banc de mesures – 2 familles de ponts directionnels transmission/réflexion

HP 8743(a et b) : 2 – 12.4 GHz Sparm test-set with line stretcher : seulement S21 and S11

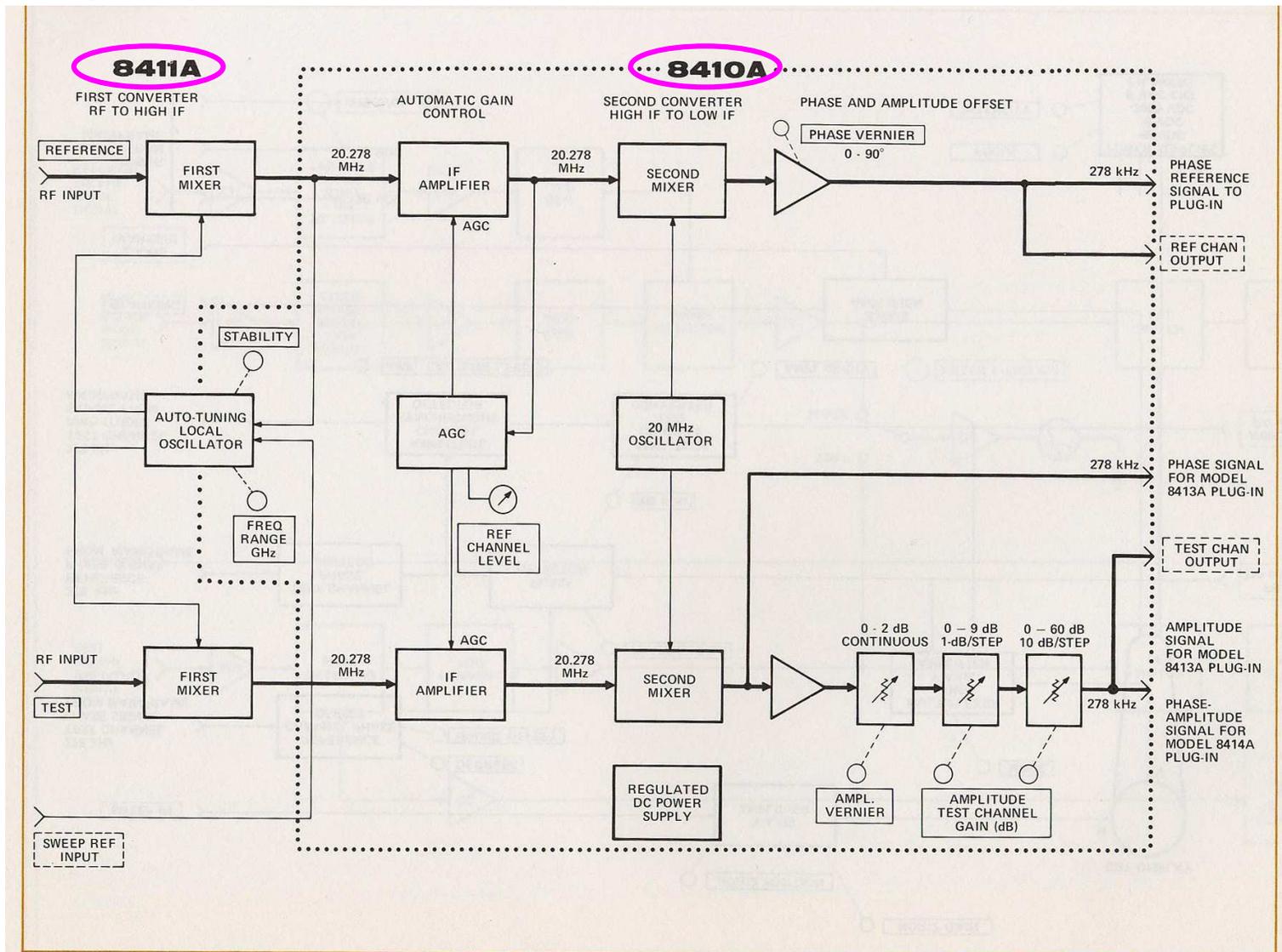


HP 8746b 2 – 12.4 GHz real switched Sparm test-set with attenuator



HP 8410(a, b ou c)

Schéma de principe – liaison entre VNA HP 8410 et harmonic converter HP 8411a



Model 8410/8411A Basic Block Diagram

2- Calibration en réfléchi

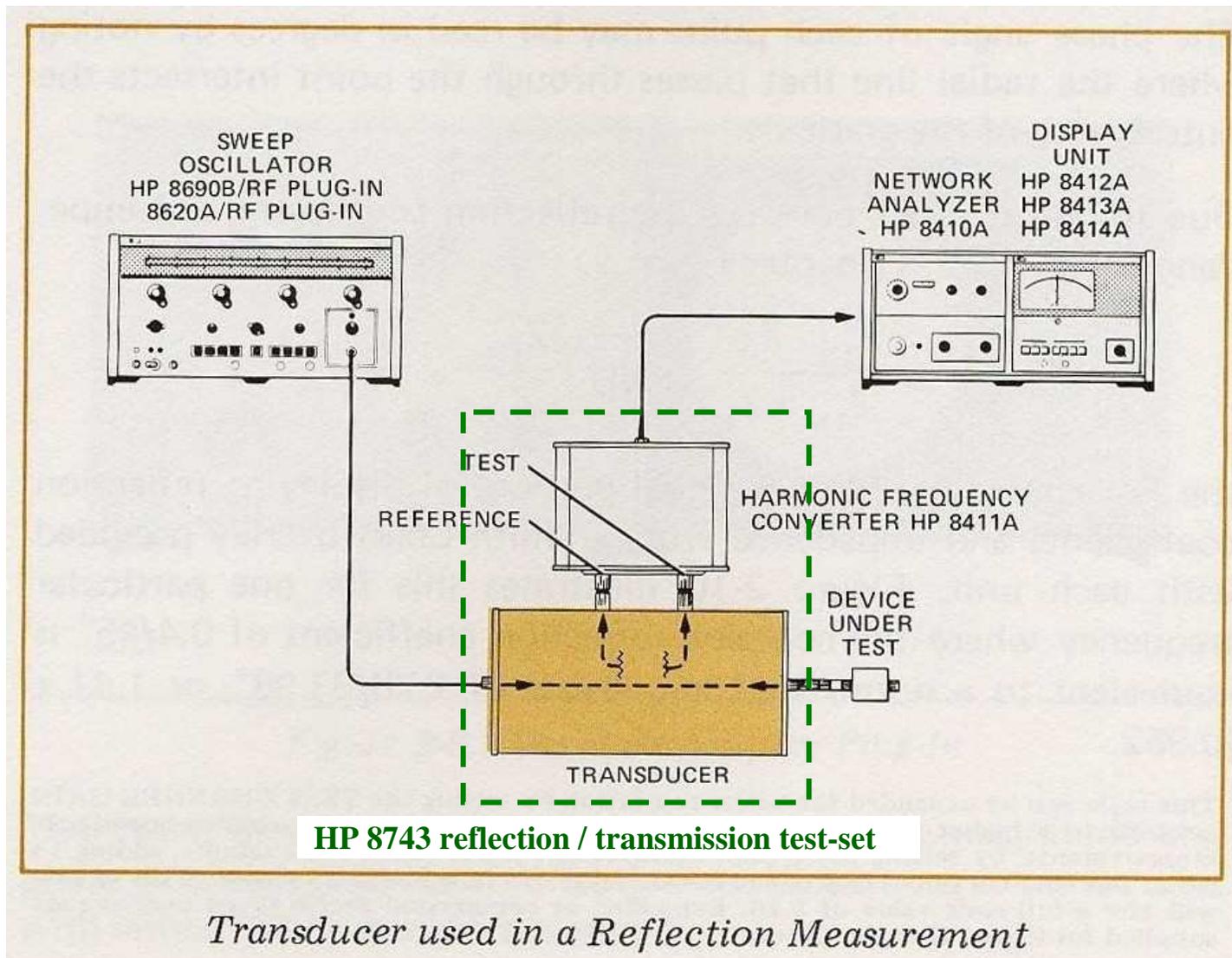
Conditions initiales

Exemple : balayage sweep large bande, par exemple de 6 à 12 GHz

Plan de référence utilisé : sortie de fiche N femelle après transition APC7 / N sur l'entrée du pont HP 8743b

Calibration en réfléchi

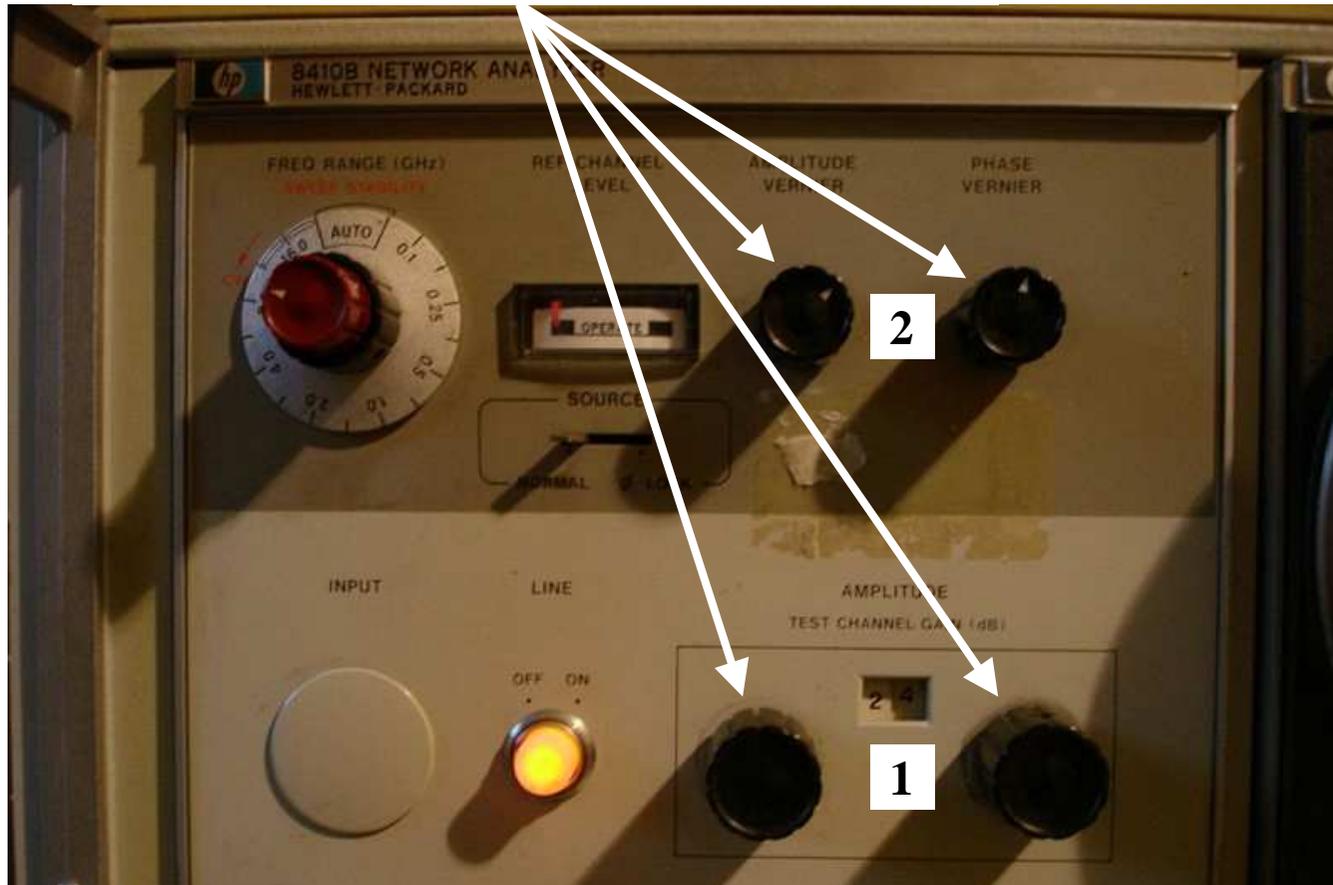
Calibration en réflexion (schéma)



Calibration en réfléchi

Calibration sur court-circuit (short)

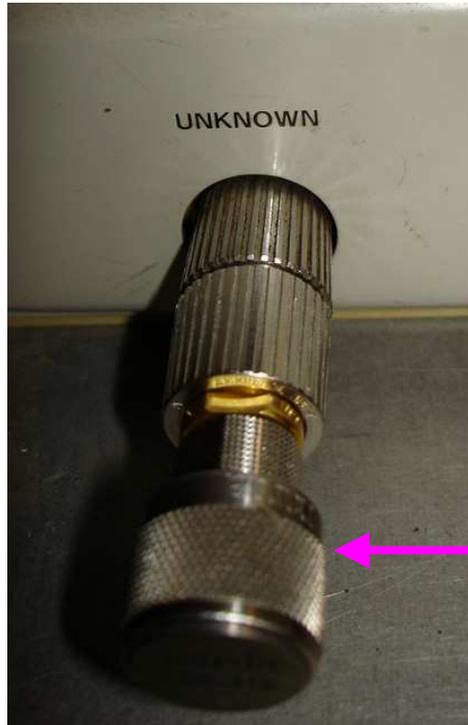
- Vérifier que la plage de réglage de phase est bonne
- Agir par réglages convergents sur :



- 1- ensemble atténuateur
- 2- amplis amplitude (rayon) et phase (position) du spot
- 3- ajustement ligne à air pour obtenir un « tortillon » le plus petit possible

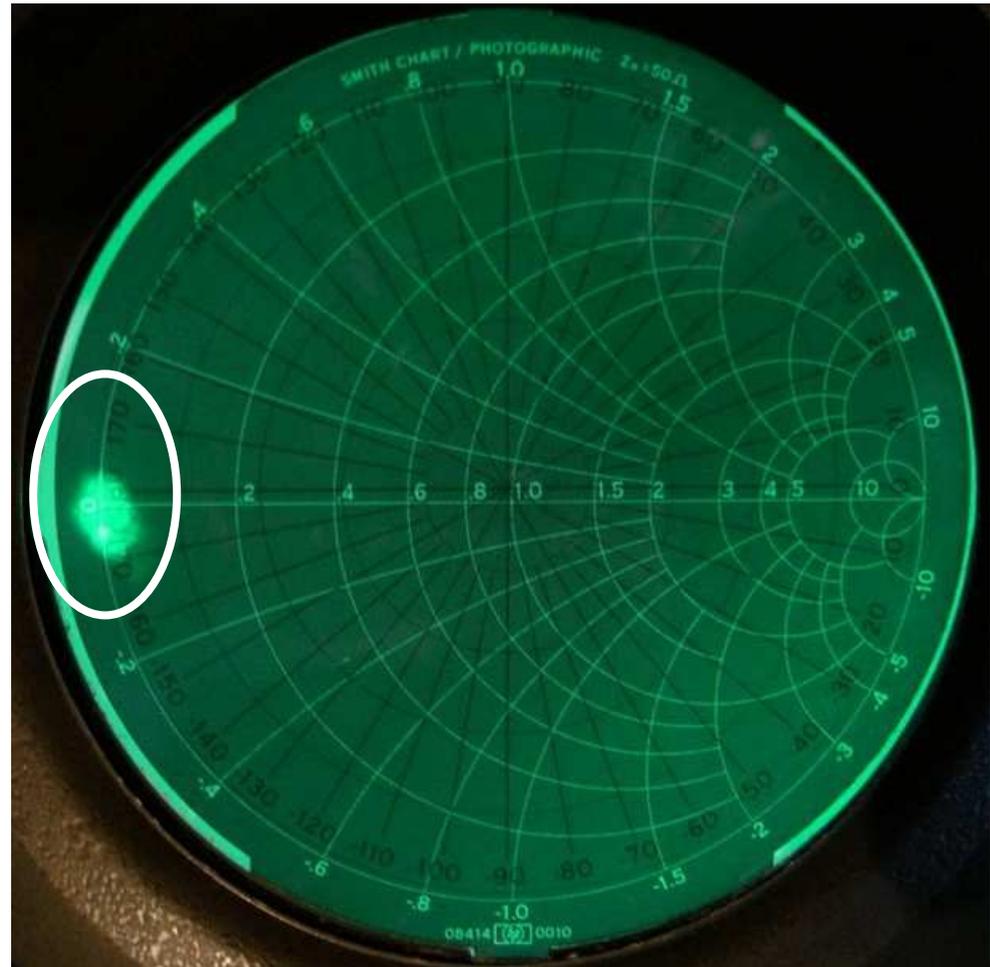
Calibration en réfléchi

Calibration sur court-circuit (short)



Avec seulement un display HP 8412a, calibrer en phase en obtenant une ligne la plus horizontale possible

Plan de référence



Ligne à air

3

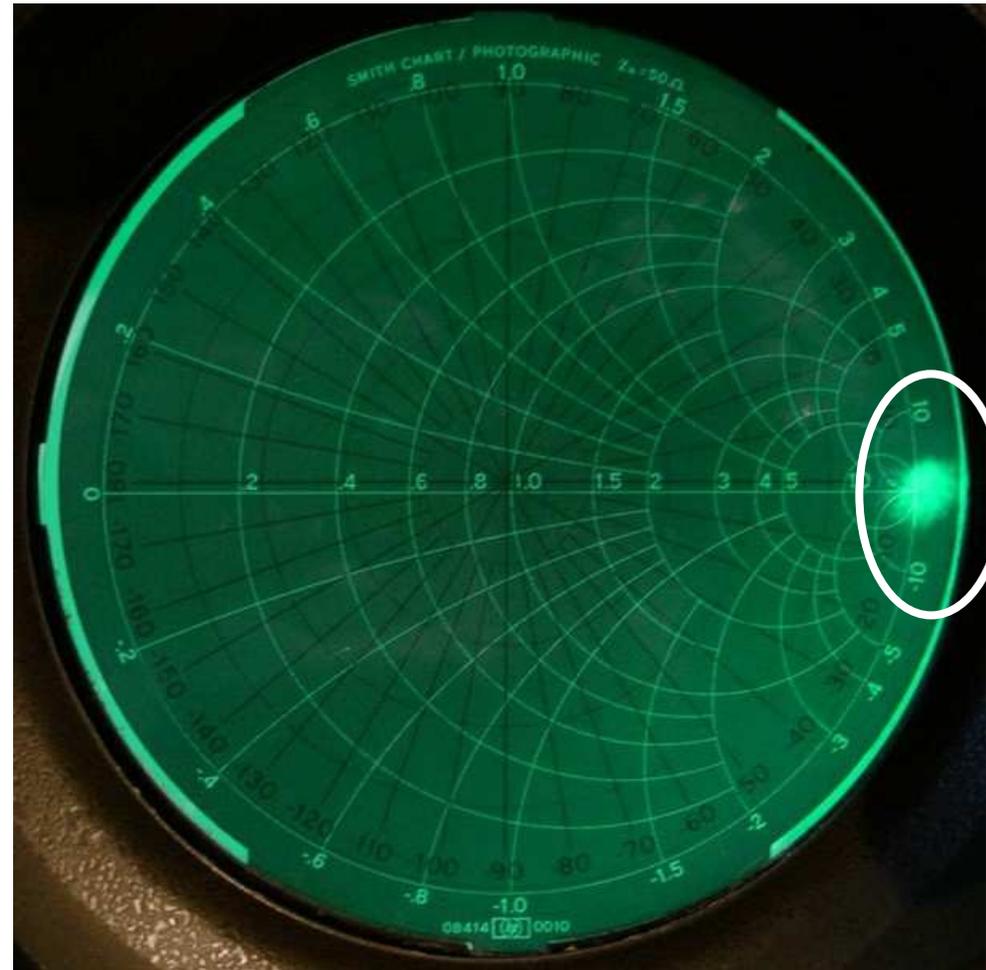


Calibration en réfléchi

Calibration sur circuit ouvert (open)



Plan de
référence



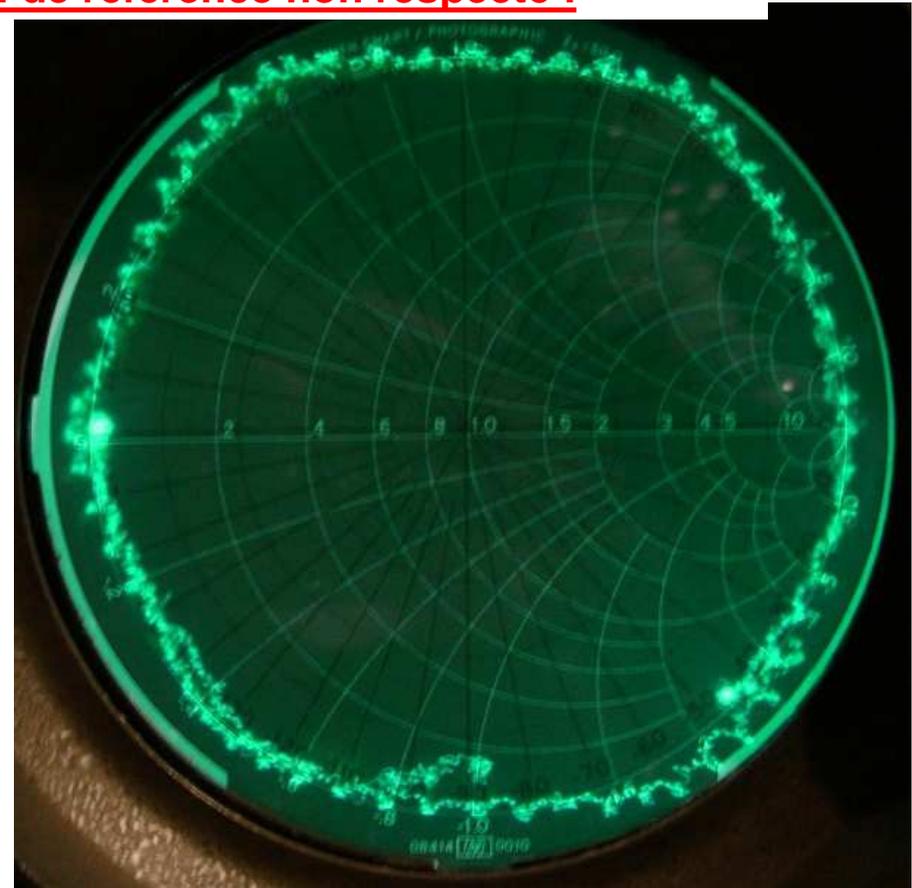
Calibration en réfléchi

Vérification sur bonne charge 50 Ohms large bande (load)



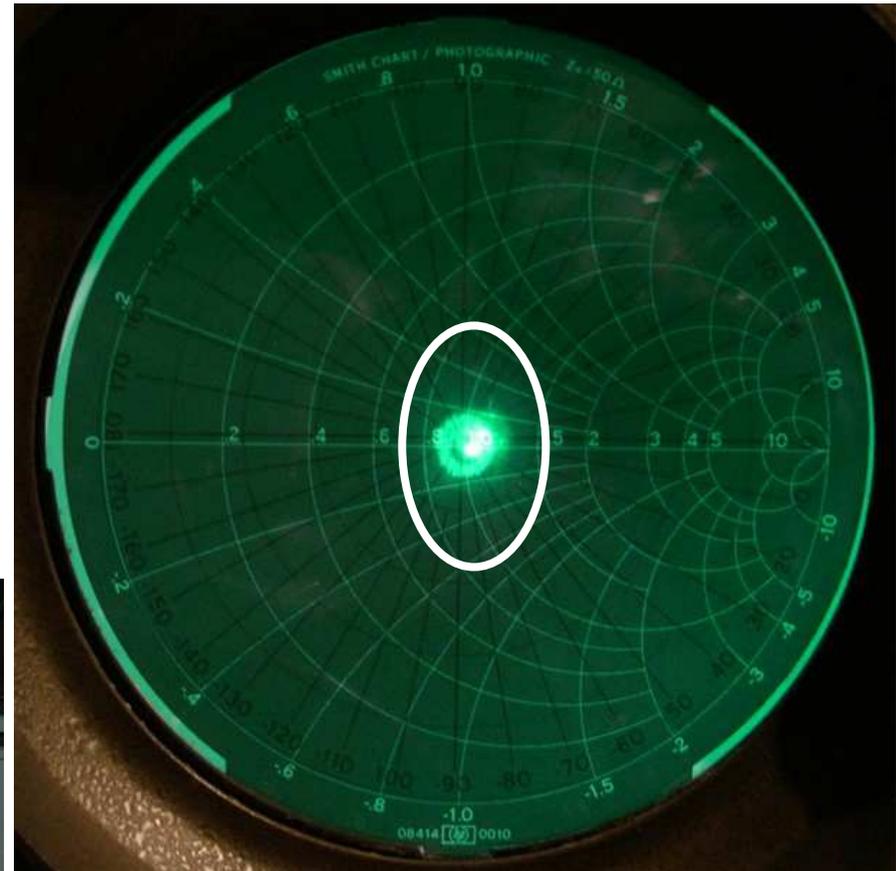
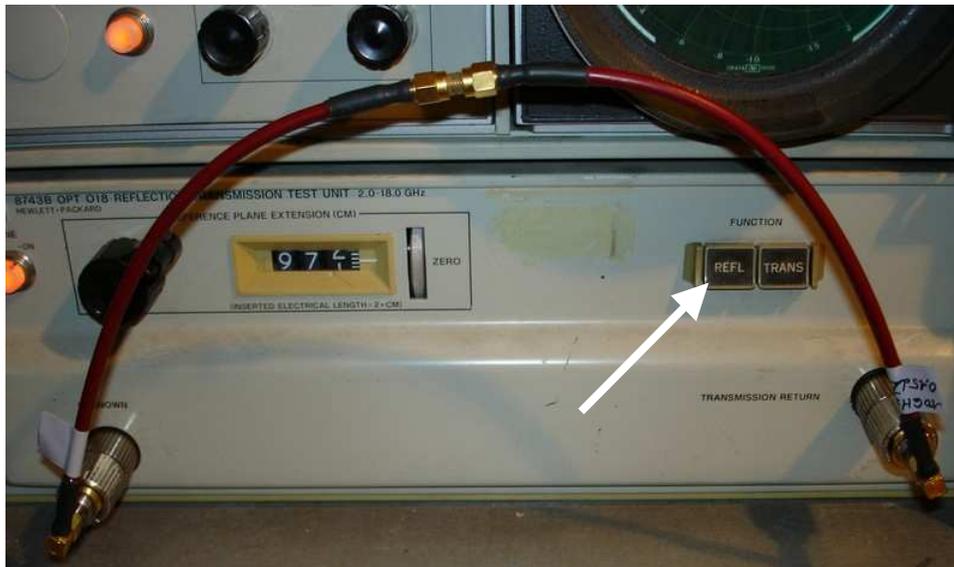
Calibration en réfléchi

Calibration sur circuit ouvert (open) avec plan de référence non respecté !



Calibration en réfléchi

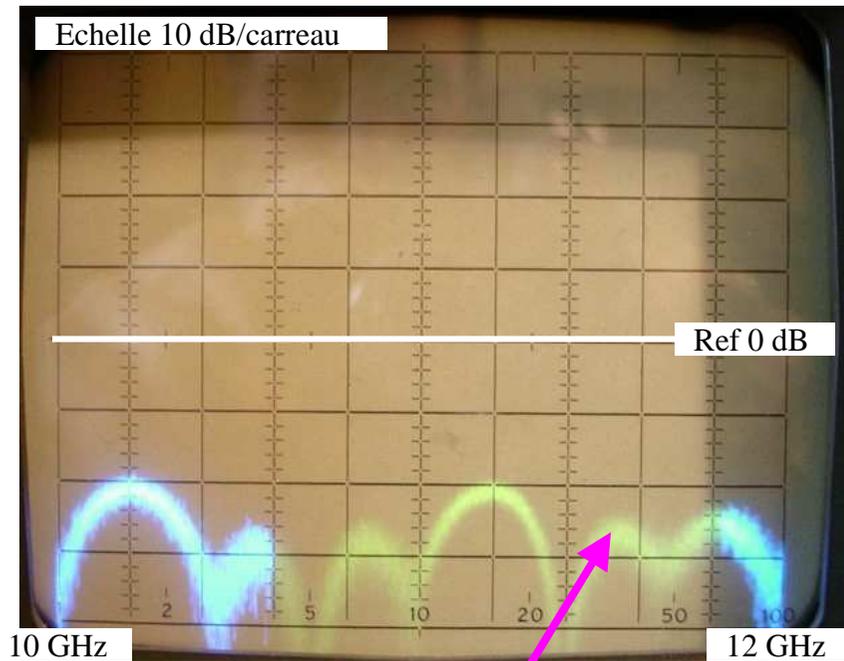
Vérification sur thruline en SMA



Calibration en réfléchi

Vérification en transmission sur thruline en SMA de 10 à 12 GHz

S11 en amplitude



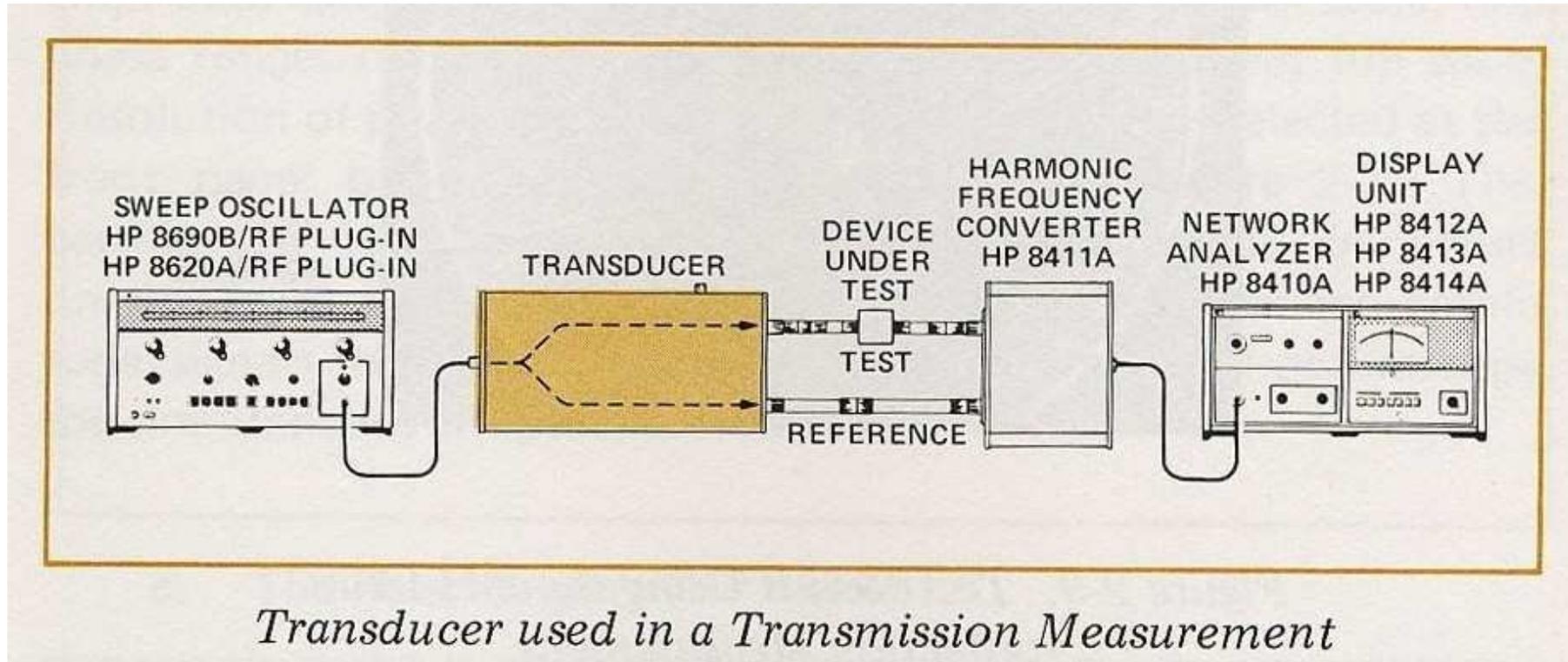
S11 en phase



3- Calibration en transmission

Calibration en transmission

Calibration en transmission (schéma)

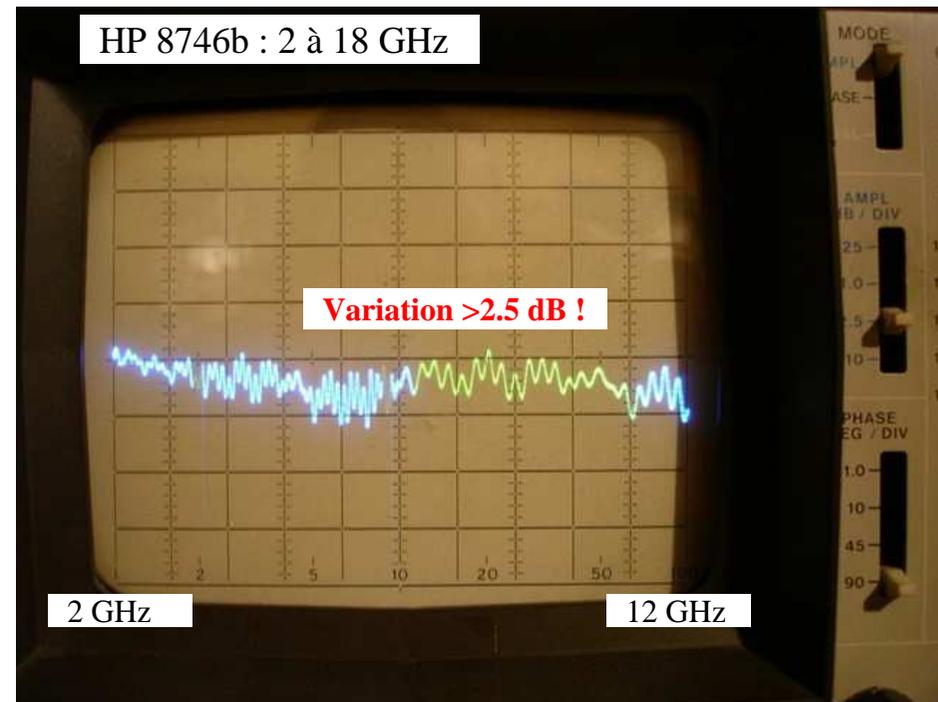
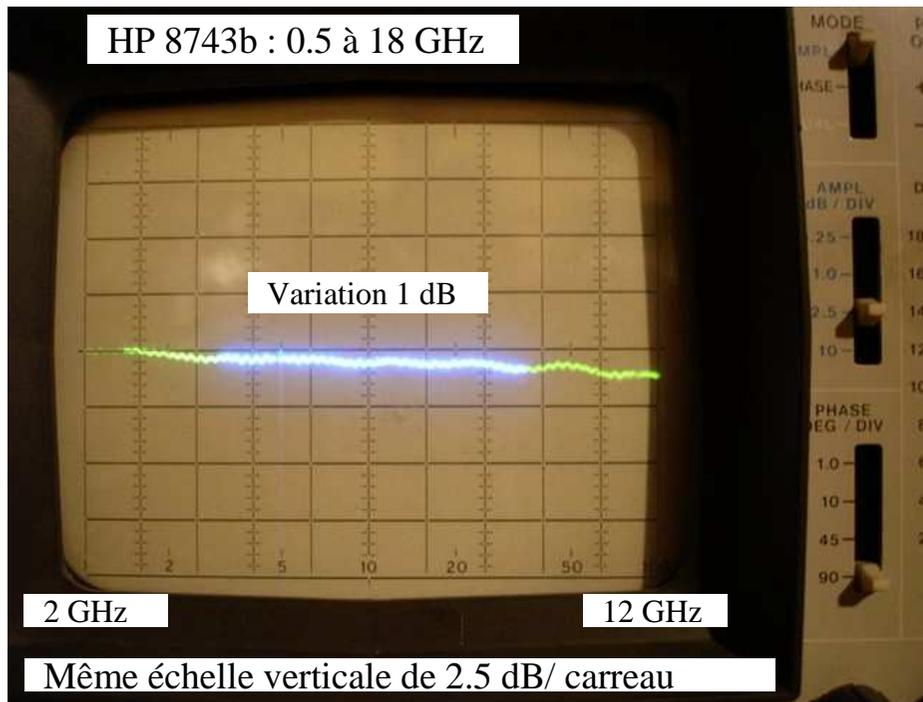


4- Variation du 0 dB gain fonction de la boîte de paramètres-S utilisée

Variation du 0 dB gain après calibration

Même équipement de base – boîte de paramètres-S différente

Surtout même harmonic converter



La complexité de la HP 8746b (commutation additionnelle entrée/sortie) dégrade son étalonnage initial !
F5DQK Décembre 2009

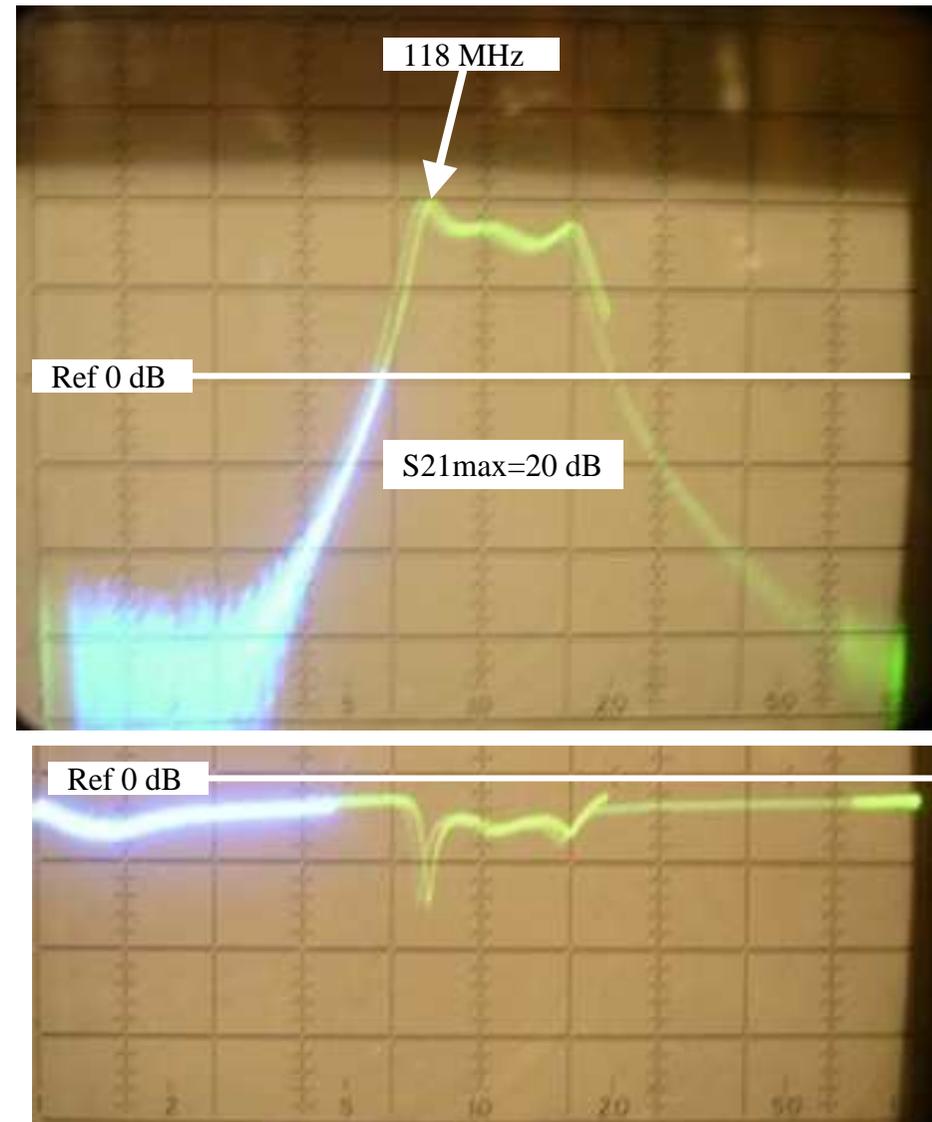
5- Mesures sur préampli 118 MHz aviation

Mesures sur préampli 118 MHz aviation

Avec HP 8410



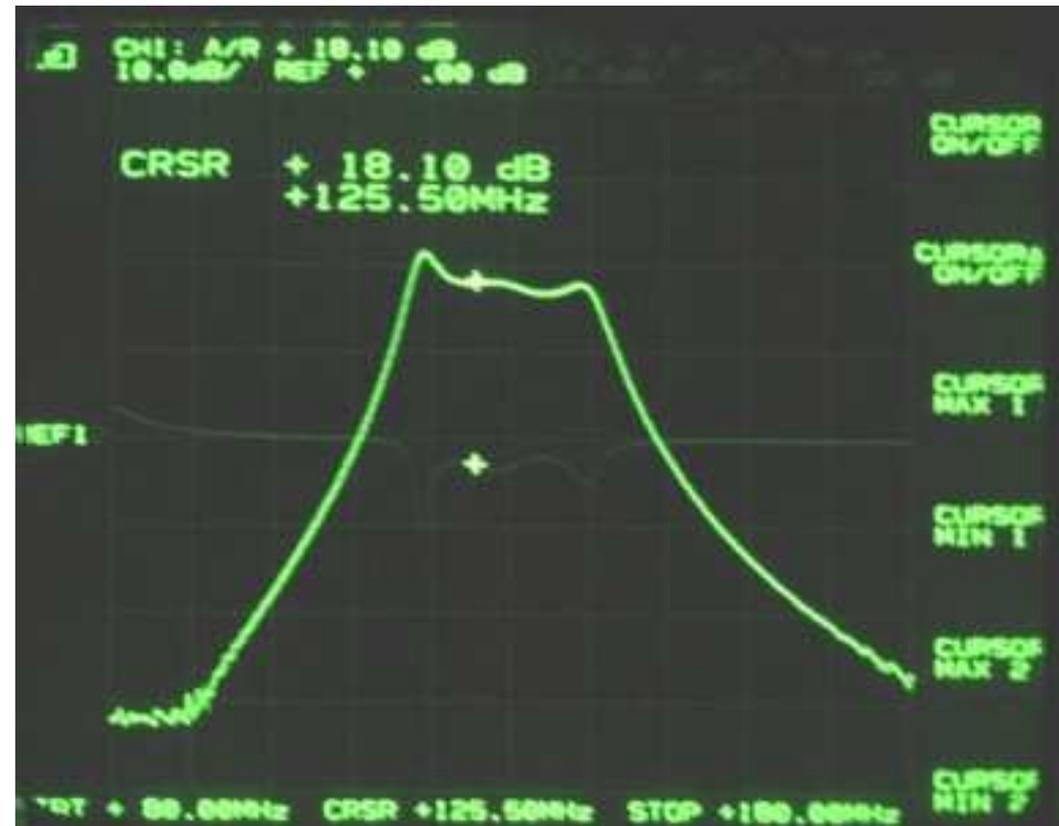
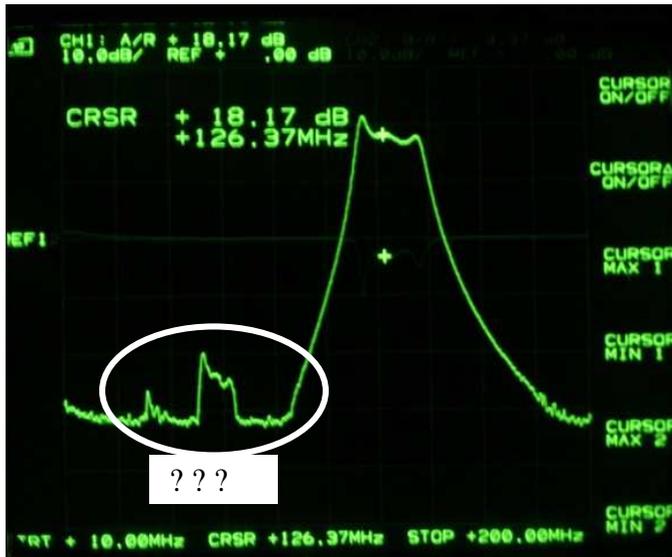
F5DQK Décembre 2009



Analyseur vectoriel HP 8410 – release 4F

Mesures sur préampli 118 MHz aviation

Comparaison au scalaire HP 8756a



F5DQK Décembre 2009

Analyseur vectoriel HP 8410 – release 4F

6- Mesures sur préampli mâle 432 MHz Strese

Mesures sur préampli mât 432 MHz Stresse

Banc de mesure utilisé



Atténuateur amont AVANT DUT

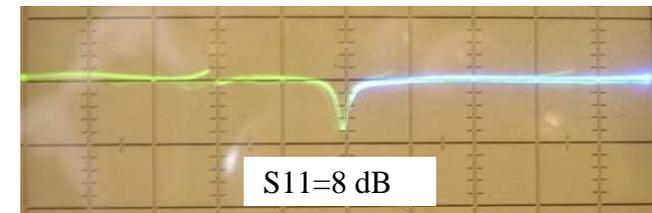
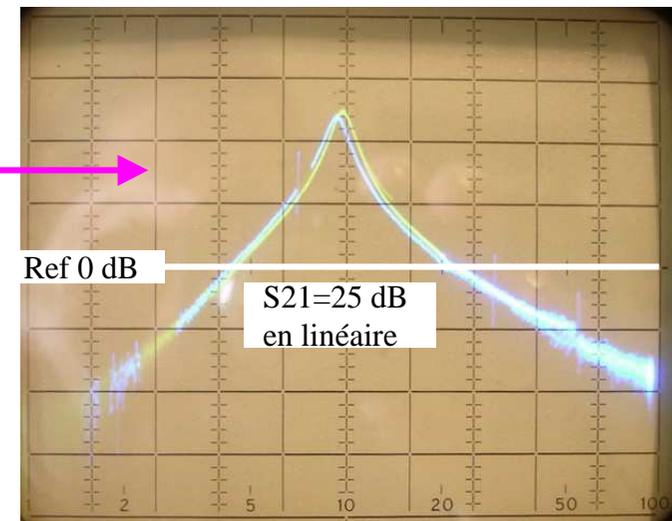
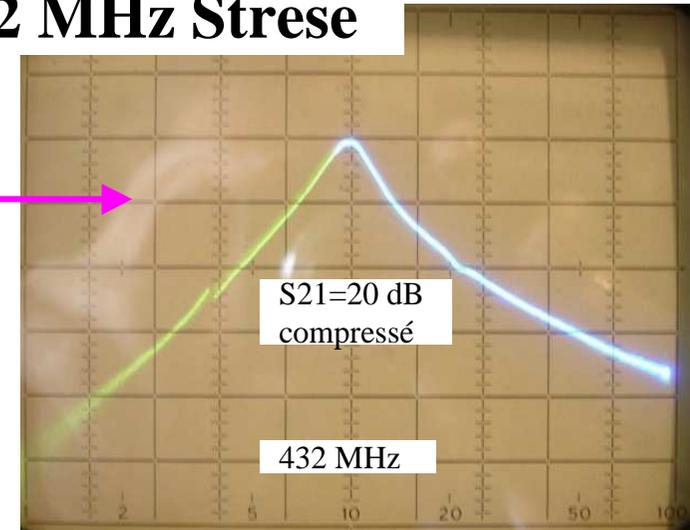
- Sweep HP 8620c + tiroir 10 MHz – 2.4 GHz
- HP8410(a ou b) + S-parm test-set HP 8746b

F5DQK Décembre 2009

Analyseur vectoriel HP 8410 – release 4F

Mesures sur préampli mâtt 432 MHz Strese

Mesure dans sa zône linéaire

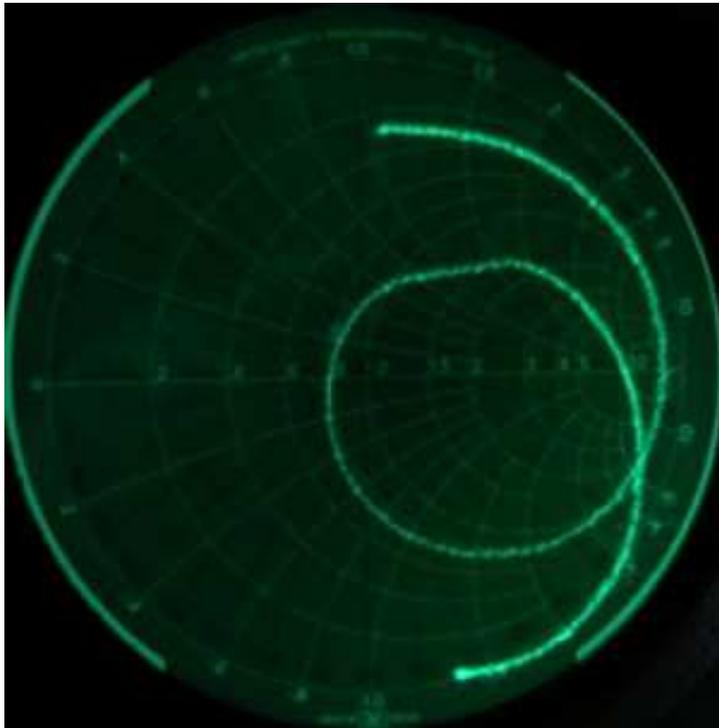


Mesures sur préampli mâât 432 MHz Stresse

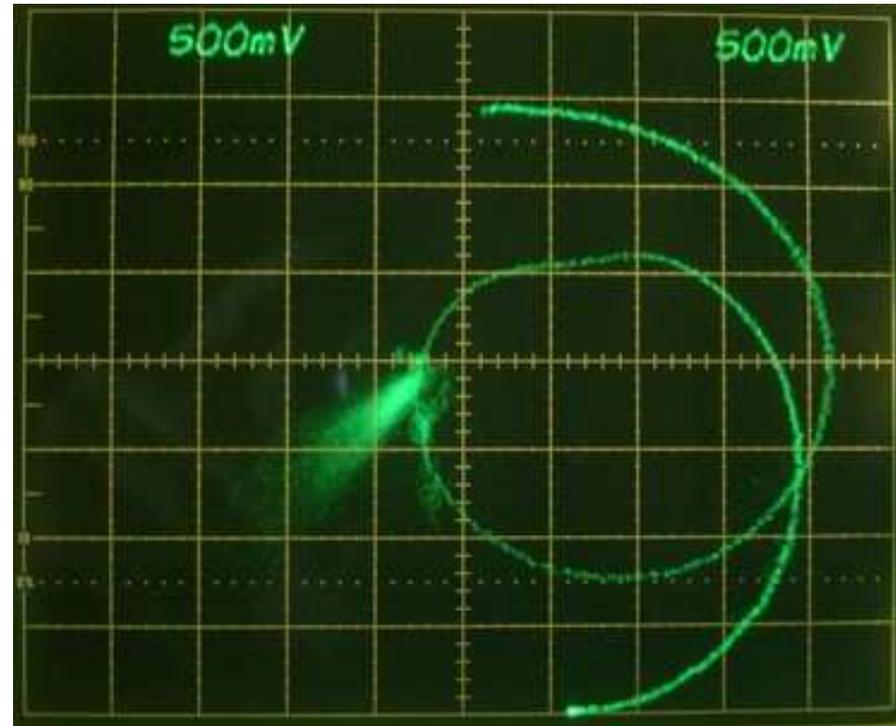
Sorties X et Y du display polaire vers oscilloscope : comparaison

Voir câblage BNC page 8

Display polaire HP 8414



Oscillo Tektronix 7603 avec tiroir 7A16P à la place de celui base de temps



La trace n'est guère plus nette !
Reste à placer une abaque de Smith transparente sur l'écran !

Mesures sur préampli mât 432 MHz Strese

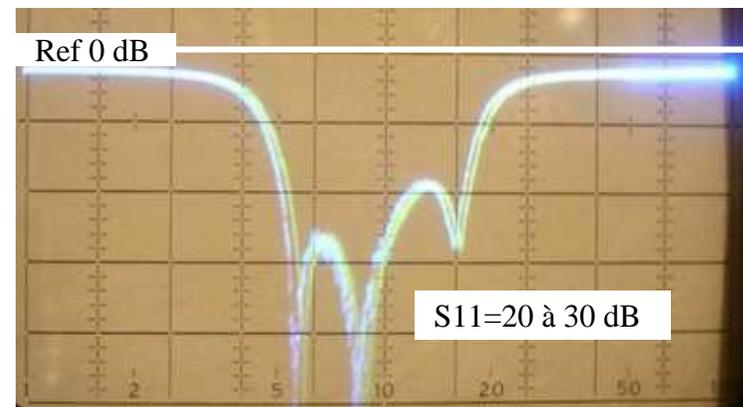
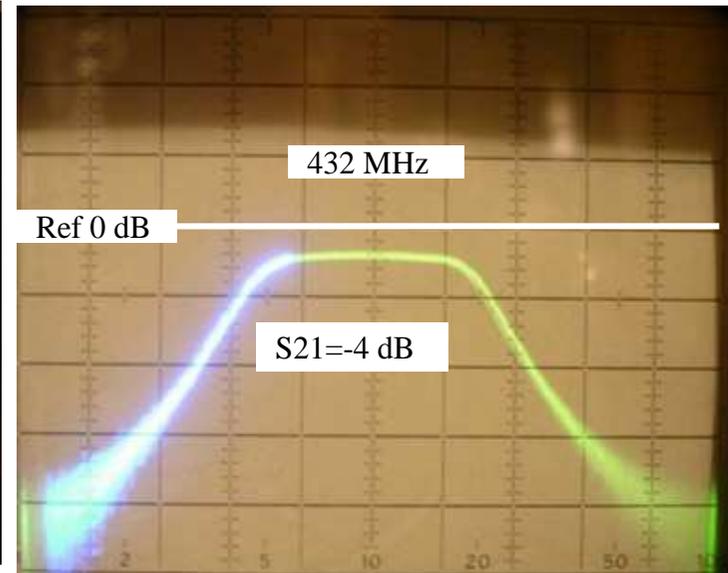
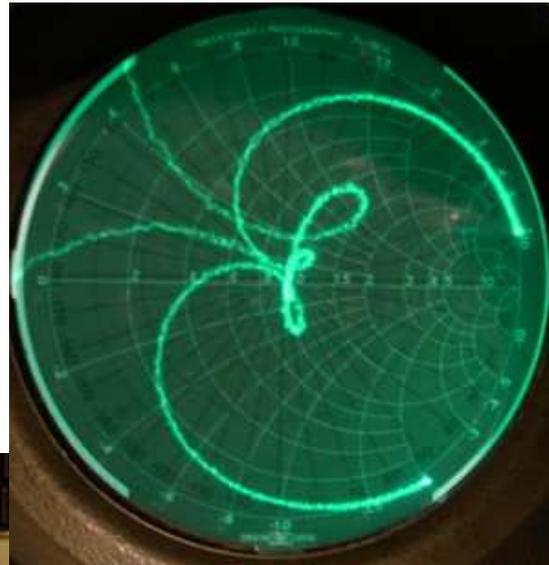
Comparaison au scalaire HP 8756a



7- Mesures sur filtre Sercel 435 MHz

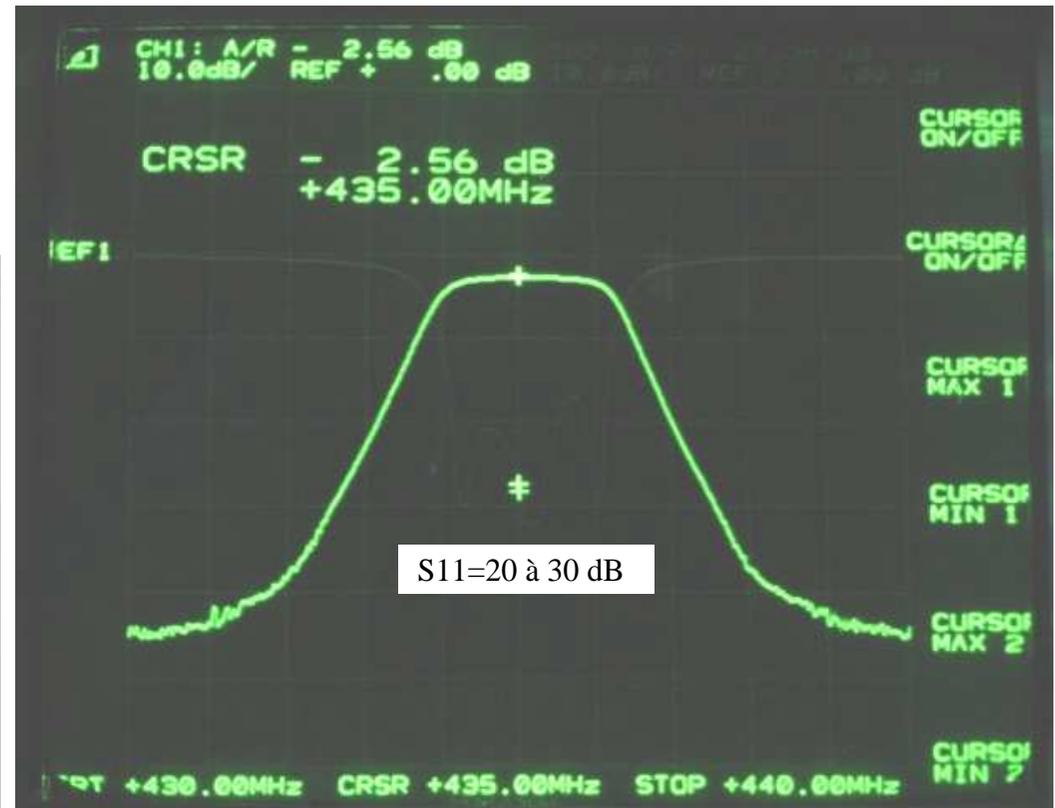
Mesures sur filtre Sercel 435 MHz

Au VNA HP 8410



Mesures sur filtre Sercel 435 MHz

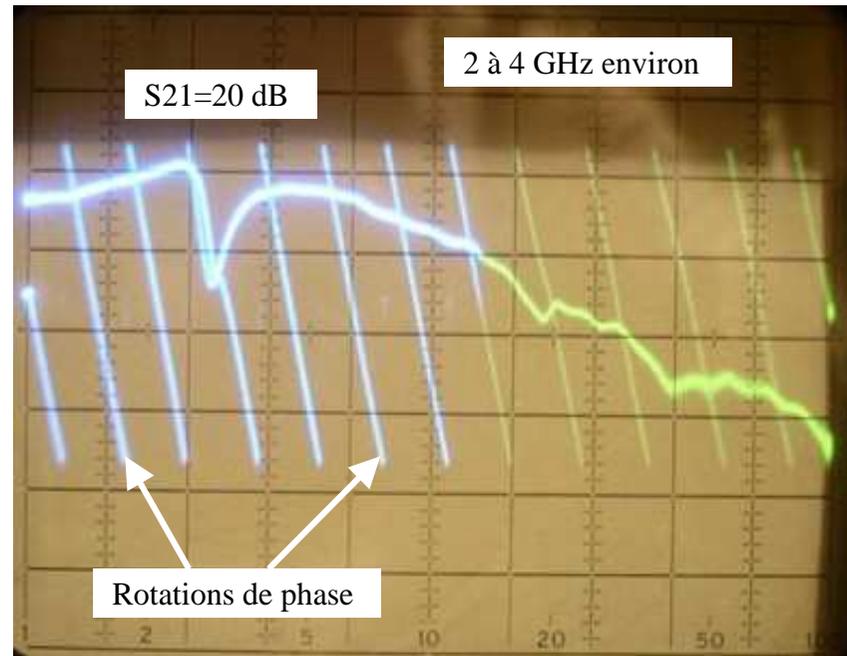
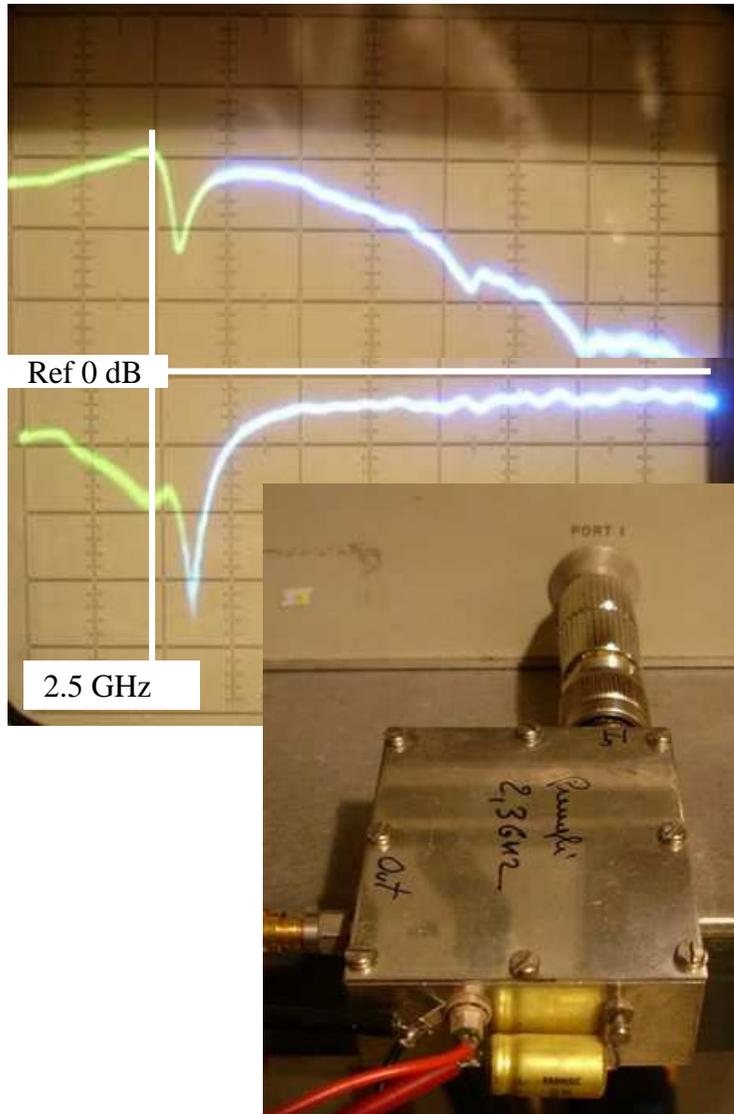
Comparaison au scalaire HP 8756a



8- Mesures sur « préampli » 2.3 GHz

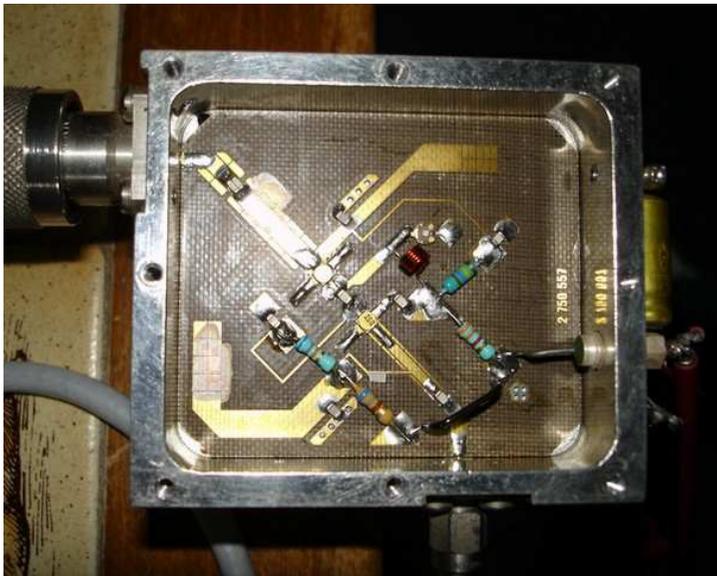
Mesures sur « préampli » 2.3 GHz

Au VNA HP 8410



Mesures sur « préampli » 2.3 GHz

Comparaison au scalaire HP 8756a

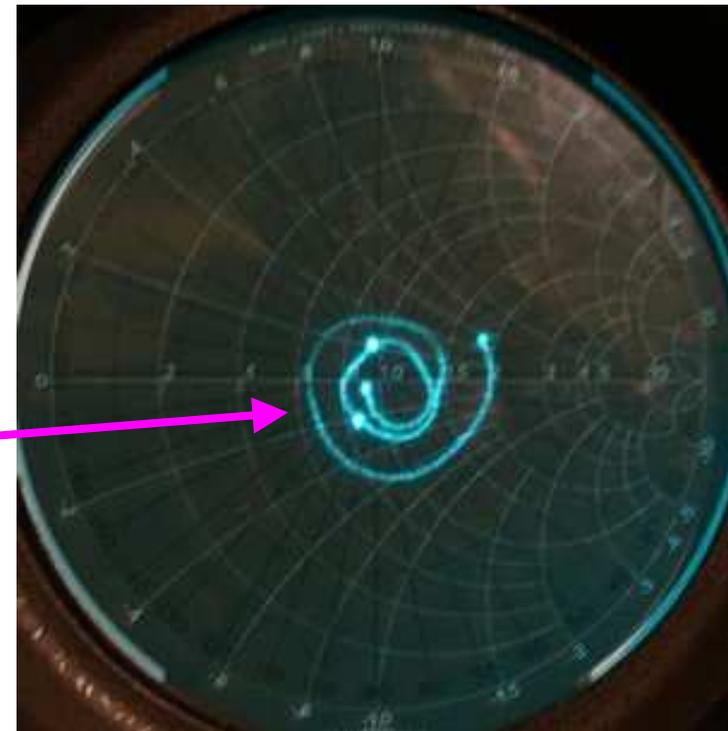
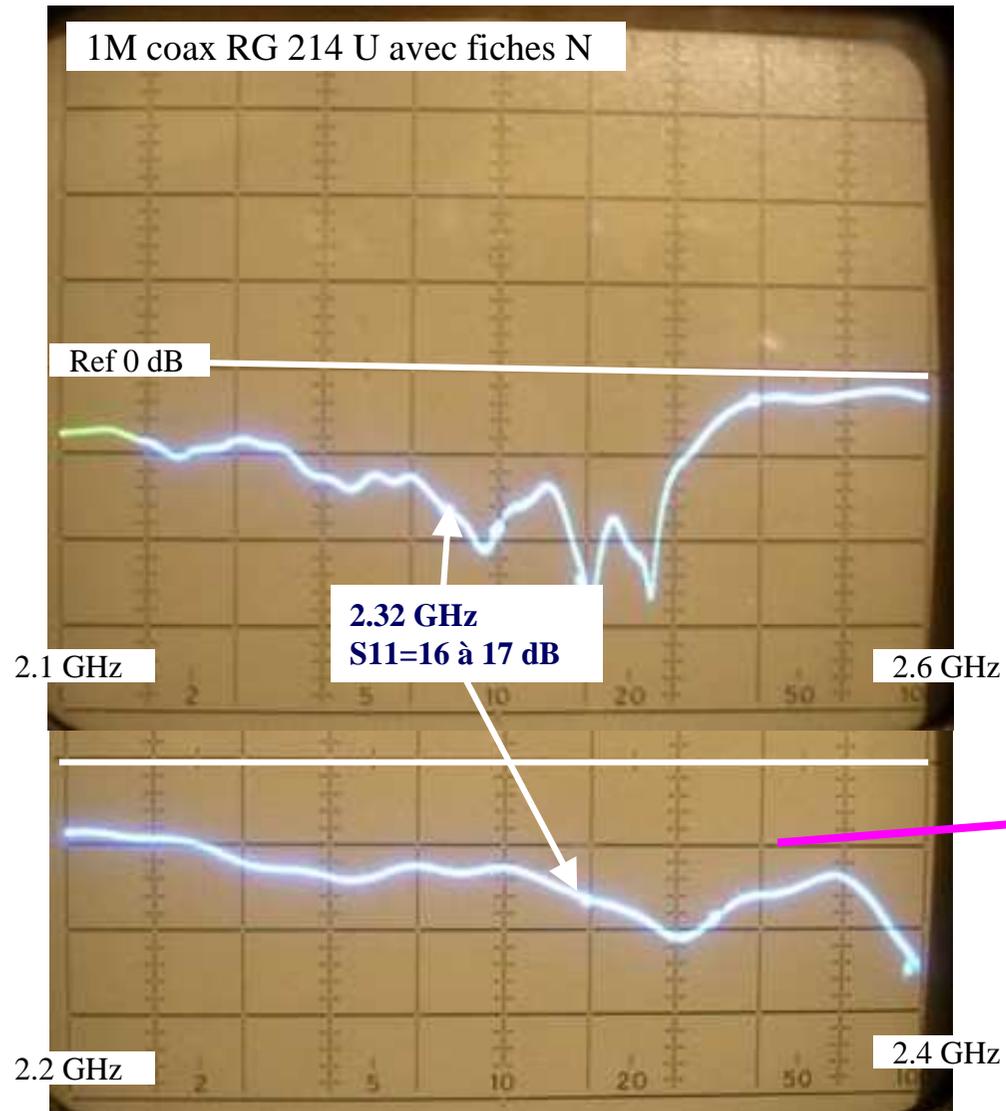


9- Mesures sur yagi 2.3 GHz Tonna 25 éléments



Mesures sur yagi 2.3 GHz Tonna 25 éléments

Au VNA HP 8410



Mesures sur yagi 2.3 GHz Tonna 25 éléments

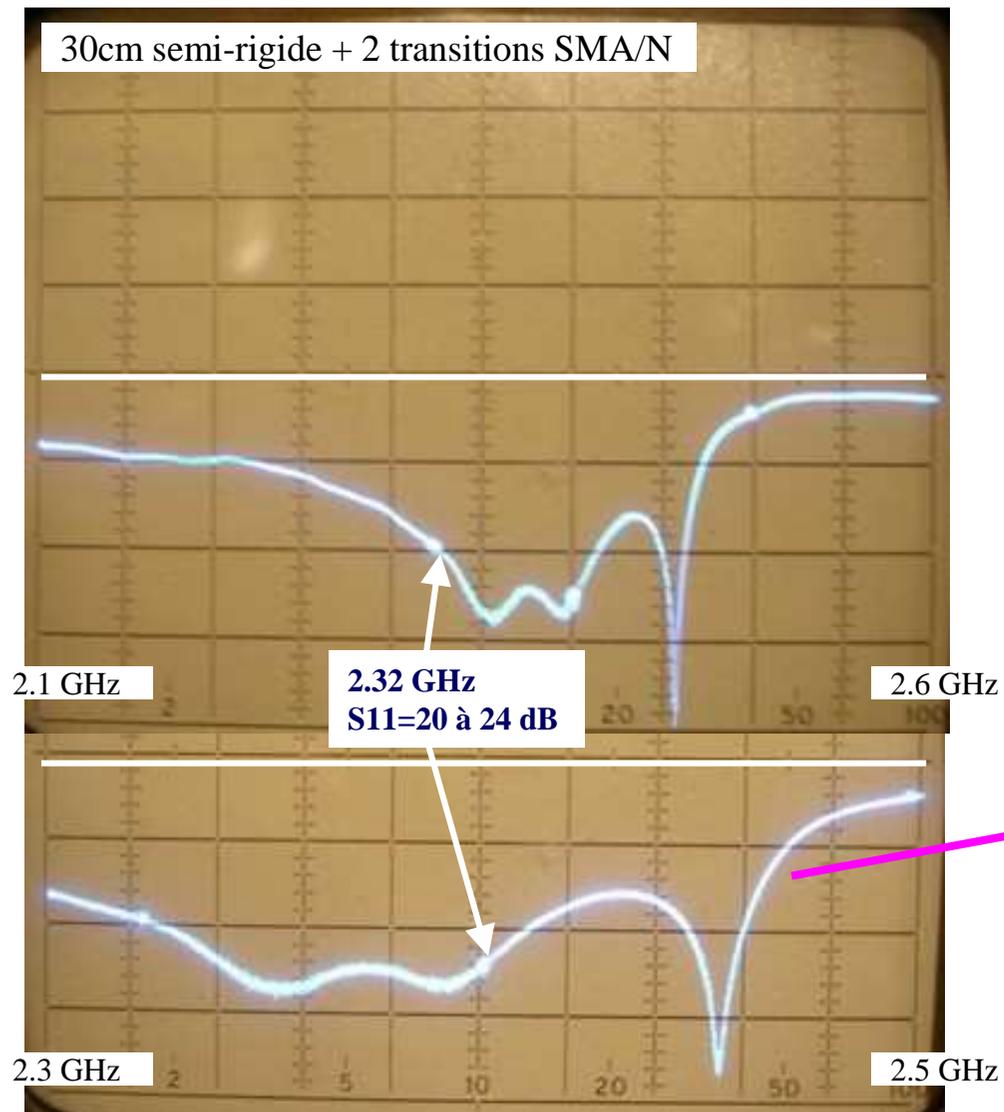
Comparaison au scalaire HP 8756a

1M coax RG 214 U avec fiches N

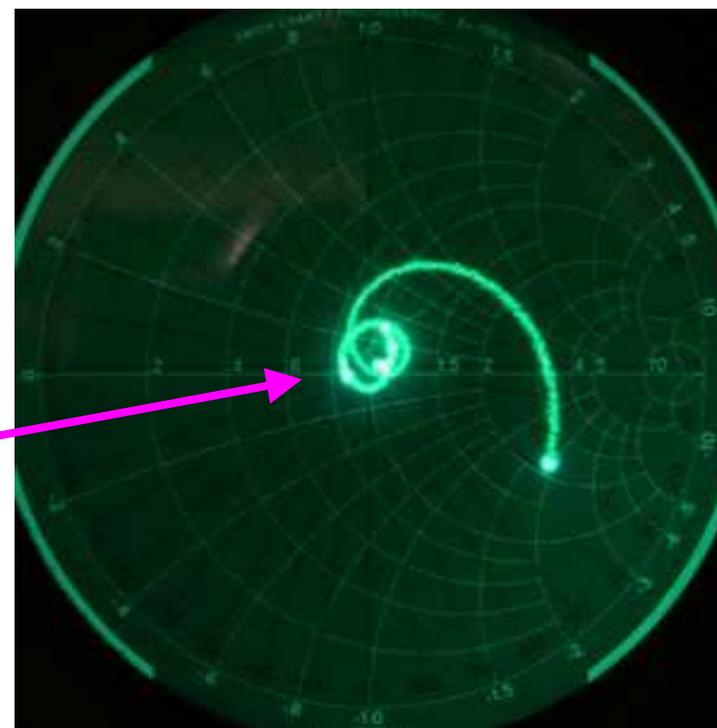


Mesures sur yagi 2.3 GHz Tonna 25 éléments

Au VNA HP 8410



Plus la liaison coaxiale est petite et de bonne qualité, mieux la mesure d'adaptation reflète la réalité !



Mesures sur yagi 2.3 GHz Tonna 25 éléments

Comparaison au scalaire HP 8756a

30cm semi-rigide + 2 transitions SMA/N



10- Bretelles pour couplage de yagis 2.3 GHz Tonna 25 éléments

Couplage de 4 yagis 2.3 GHz Tonna 25 éléments

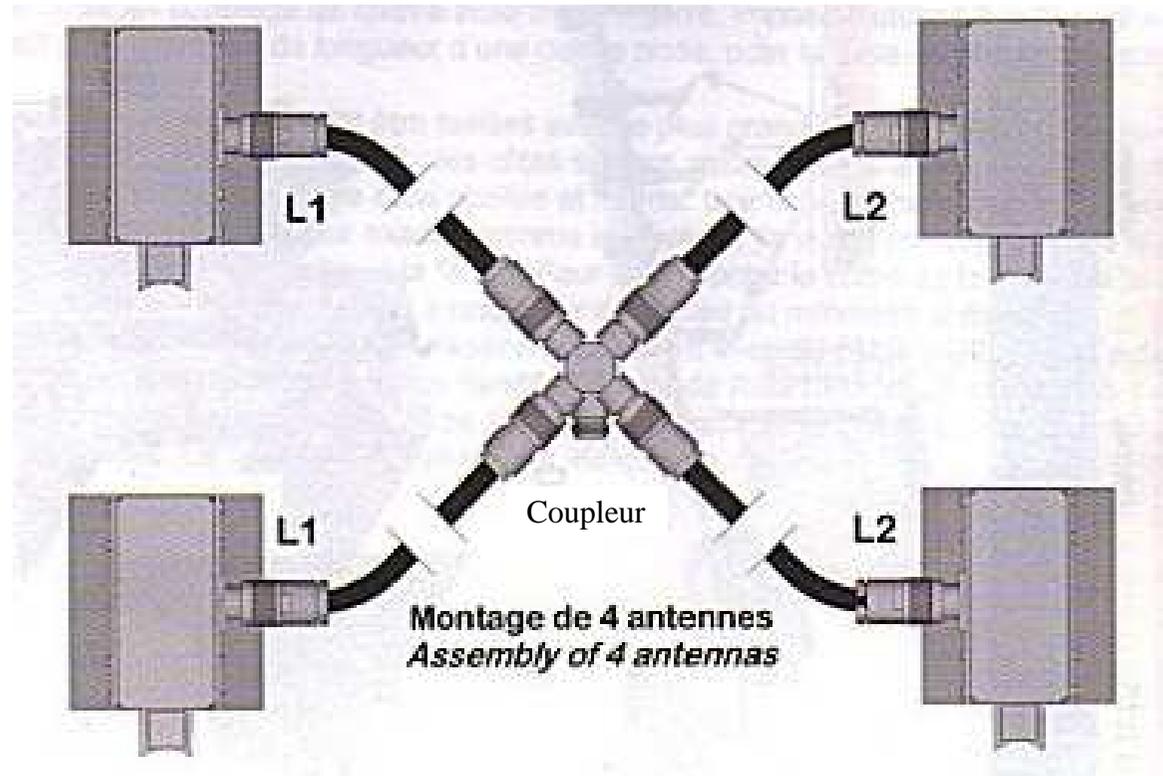
Données constructeur

L'élément actif n'est pas un dipôle horizontal avec sortie à 90°, mais une cavité rayonnante ouverte.
En polarisation horizontale sa sortie N femelle sort sur un axe également horizontal
Du coup chaque groupe vertical est alors décalé de 180° par rapport à l'autre

2 solutions pour que les 4 antennes rayonnent en phase:

- sortir avec les fiches N d'un même côté (gauche ou droit).
- Montage proposé par Tonna en compensant de nouveau l'une des branches de 180°.

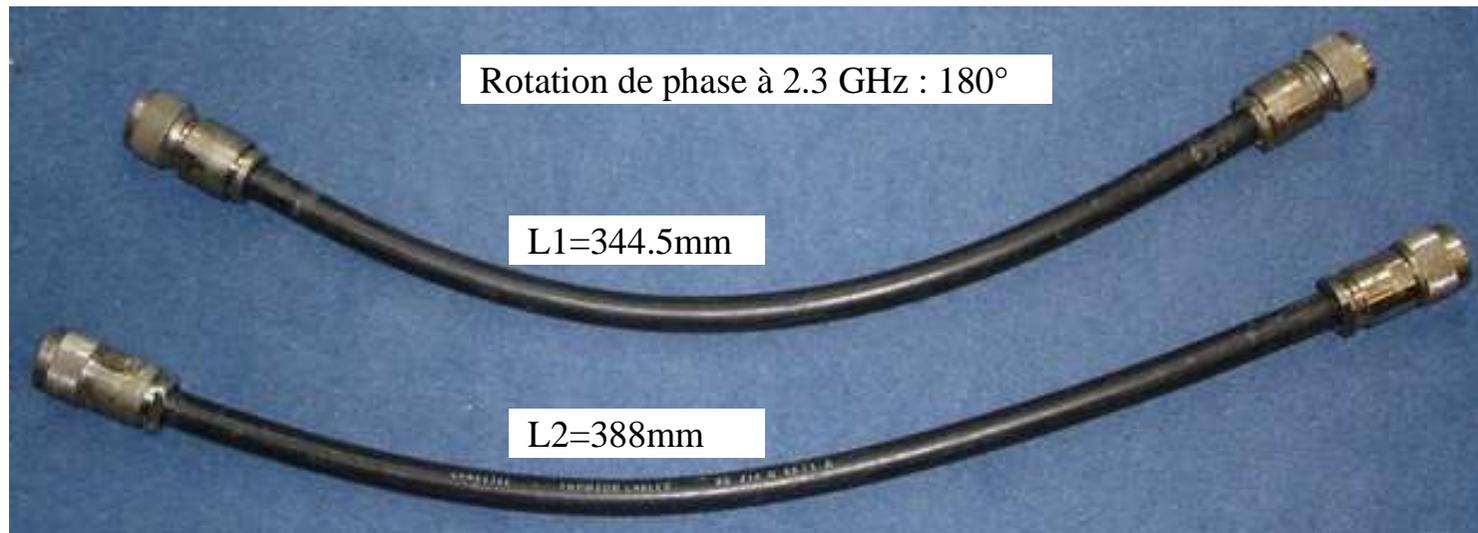
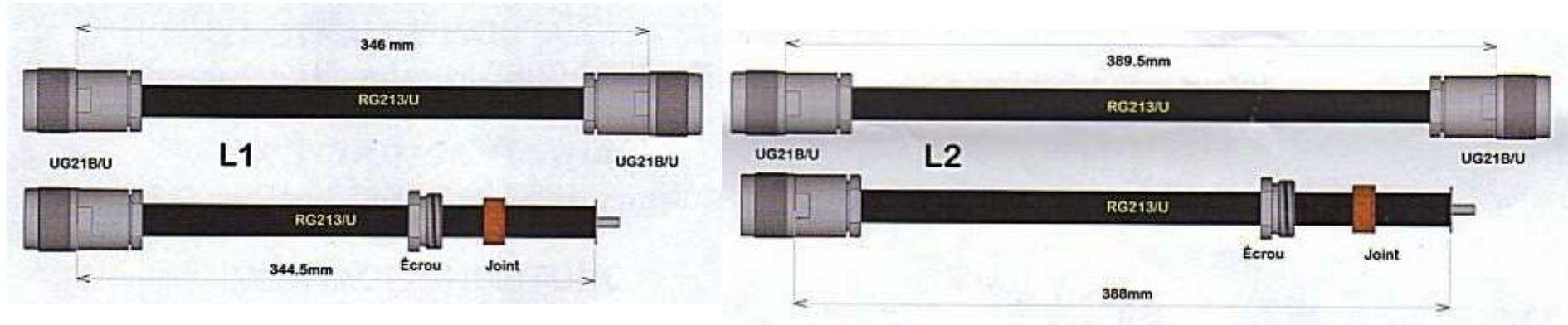
Avantage: longueurs coaxiales plus petites



Couplage de 4 yagis 2.3 GHz Tonna 25 éléments

Confection des bretelles de mise en phase

La cote intérieure entre les viroles des 2 fiches N Serlock assure une bonne reproductibilité



$$L1-L2 = \Delta = 388-344.5 = 43.5\text{mm} \text{ çàd } \lambda c/2 \text{ à } 2.25 \text{ GHz (} V_{f_coax} = 0.66)$$

Couplage de 4 yagis 2.3 GHz Tonna 25 éléments

Mesures des bretelles en transmission

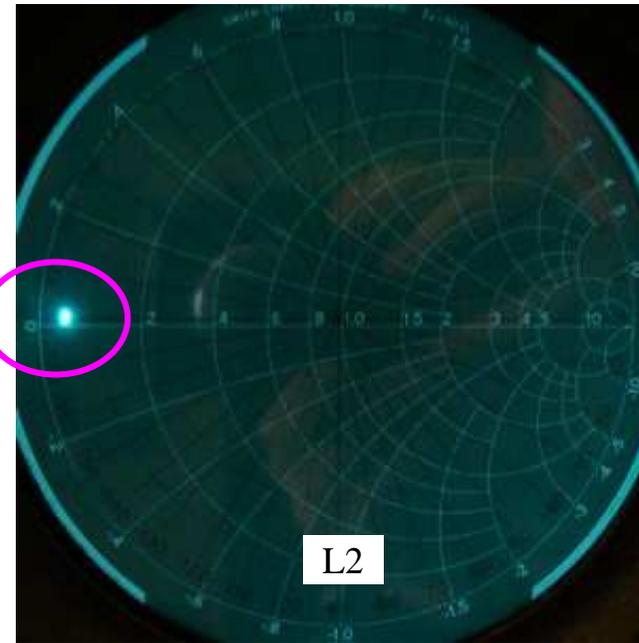
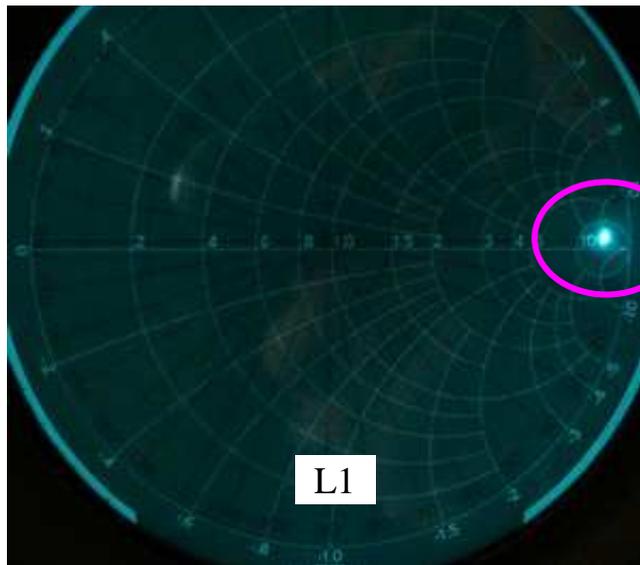


Couplage de 4 yagis 2.3 GHz Tonna 25 éléments

Mesure de l'angle de déphasage en transmission

- Etalonnage du VNA en S11 sur fiche N femelle en large bande (exemple 2 à 3 GHz) avec C-C et C-O
- Vérifier le point central sur une bonne charge 50 Ω large bande
- Passer en S21, procéder avec le sweep en CW et diminuer le gain de 10 dB
- Monter l'un des coax en série avec adaptateur N/N femelle + faible longueur coaxiale de bonne qualité branchée vers le port transmission
- Méthode du fainéant : ajustement de la manivelle sur une valeur d'angle de phase sur l'un des 4 points cardinaux
- Substituer L1 par le coax L2 et lire la différence d'angle de phase θ
- Réopérer par réglages convergents, ajuster le sweep jusqu'à ce que la θ soit précisément de 180°
- La fréquence devrait alors être proche de 2.3 GHz

Erreur de mesure constatée : +10° entre 2.11 et 2.38 GHz



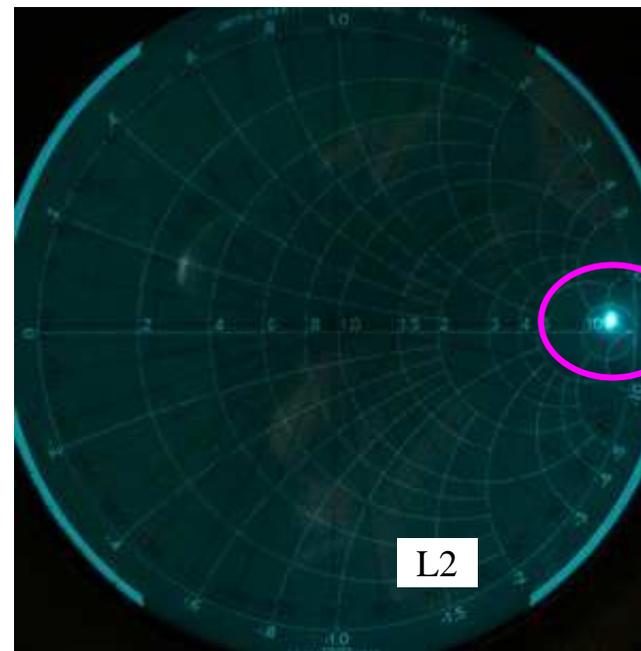
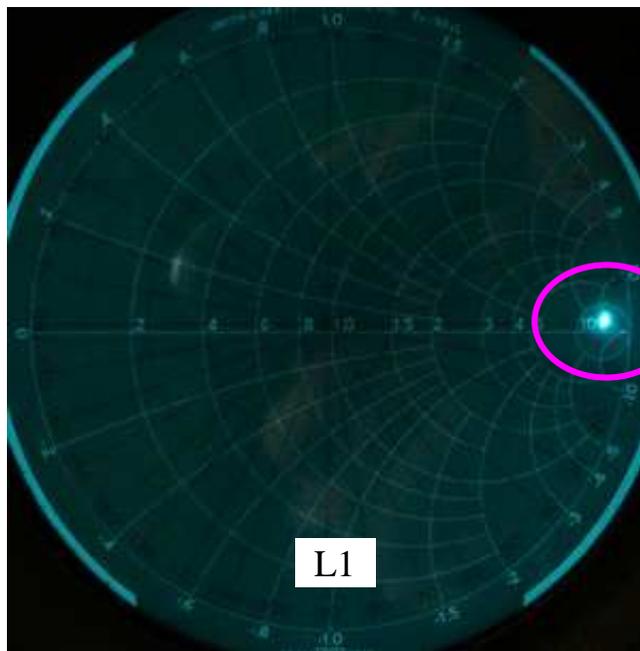
NB : le sweep HP 8350 « facilite la vie » en indiquant directement la fréquence de travail !

Couplage de 4 yagis 2.3 GHz Tonna 25 éléments

Mesure de l'angle de déphasage en réfléchi

- Le trajet radioélectrique étant alors doublé (onde incidente + réfléchi), la même fréquence d'utilisation double la rotation de phase, et sa valeur passe alors à 360°
- A cette même fréquence on doit alors trouver exactement le même point sur l'abaque (recouvrement)
- En réalité les pertes additionnelles du câble sur le trajet retour conduisent à une mesure inexacte

La même fréquence utilisée en réfléchi donne alors une erreur d'angle jusqu'à :
 10° en circuit ouvert
 28° sur court-circuit N femelle

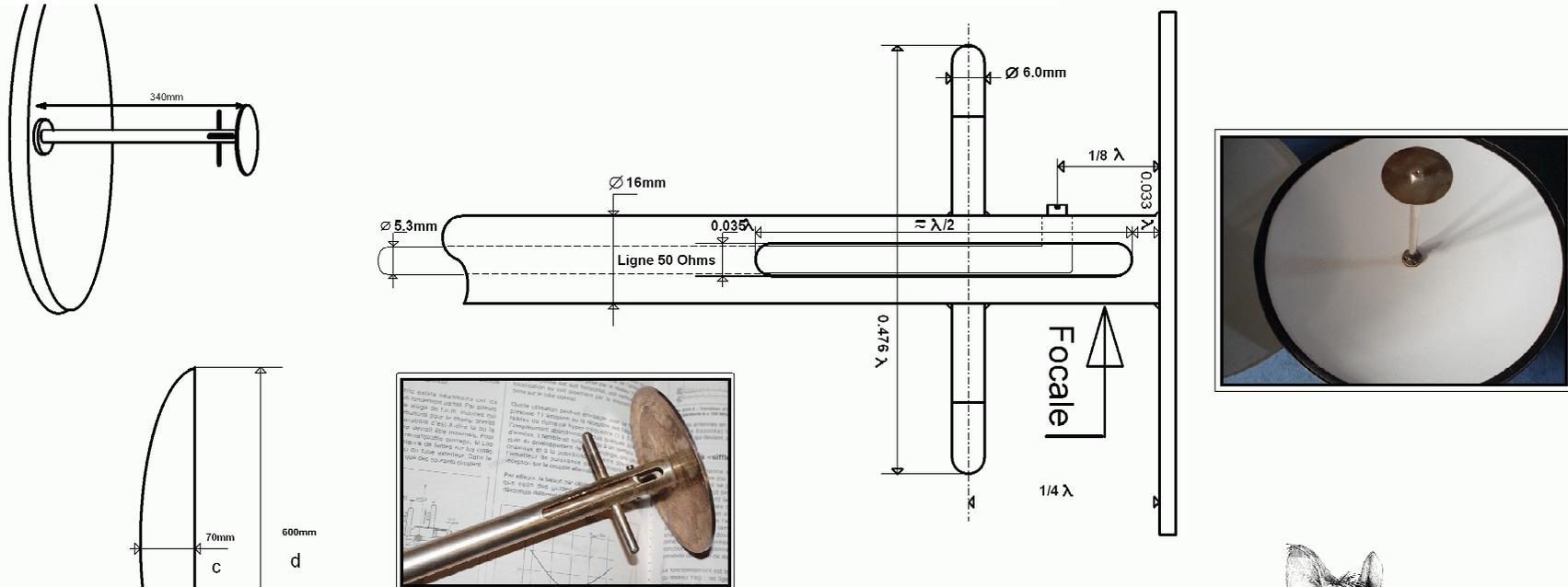




11- Transformation de la parabole « Compagnie des Compteurs »

Parabole à l'origine $\phi 600$ mm

Plan d'ensemble (réalisation F6EVT)



$dBd = dBi - 2.15$

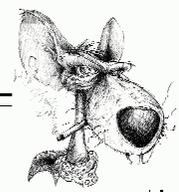
$$\text{Gain}_{dBi} = 10 \log \left[\left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^2 \times k \right]$$

$k =$ Rendement du système exemple: $50\% = 0.5$
 Dans notre cas le rendement est de 40 à 50% soit un gain de **20.2dB iso à 2.3Ghz (18dBd)**
 On gagne 3dB en doublant le diamètre donc la surface

$f =$ Distance focale
 $d =$ Diamètre Parabole
 $c =$ Profondeur Parabole

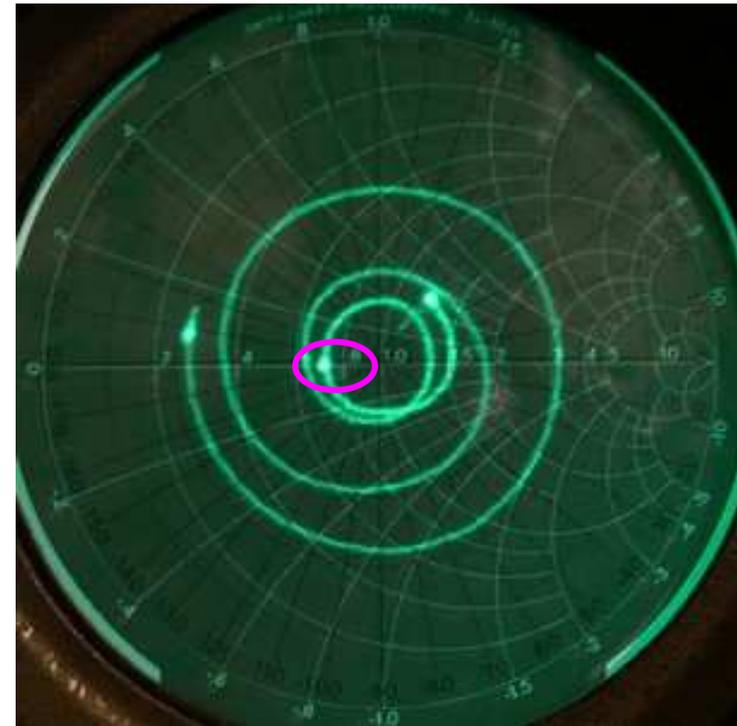
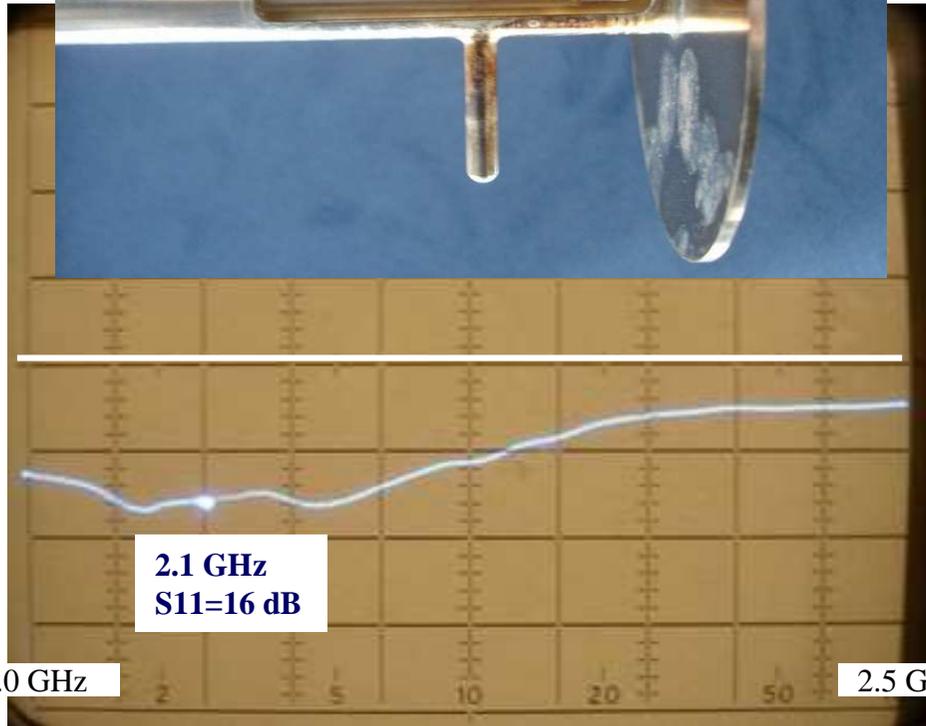
$$f = \frac{d^2}{16xc}$$

Distance Focale = 321.4 mm
 $f/D = 0,535$



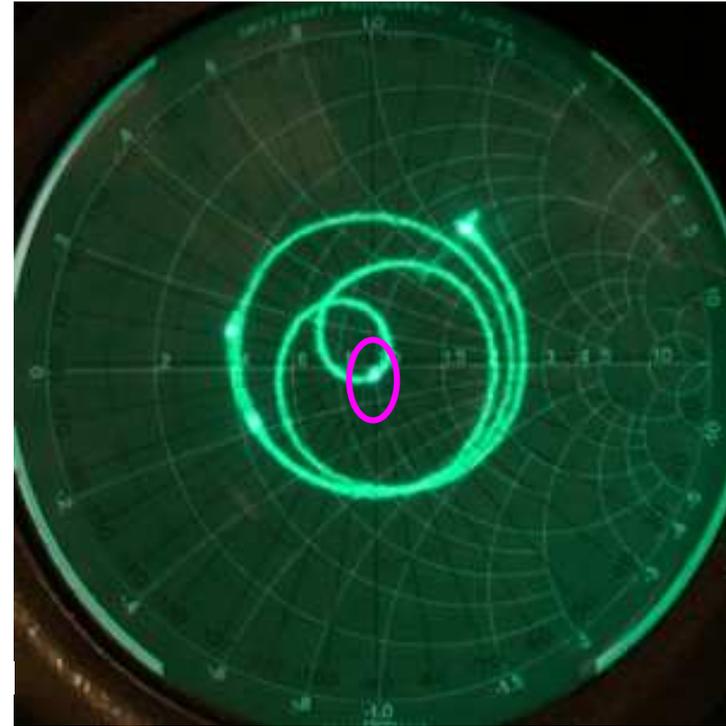
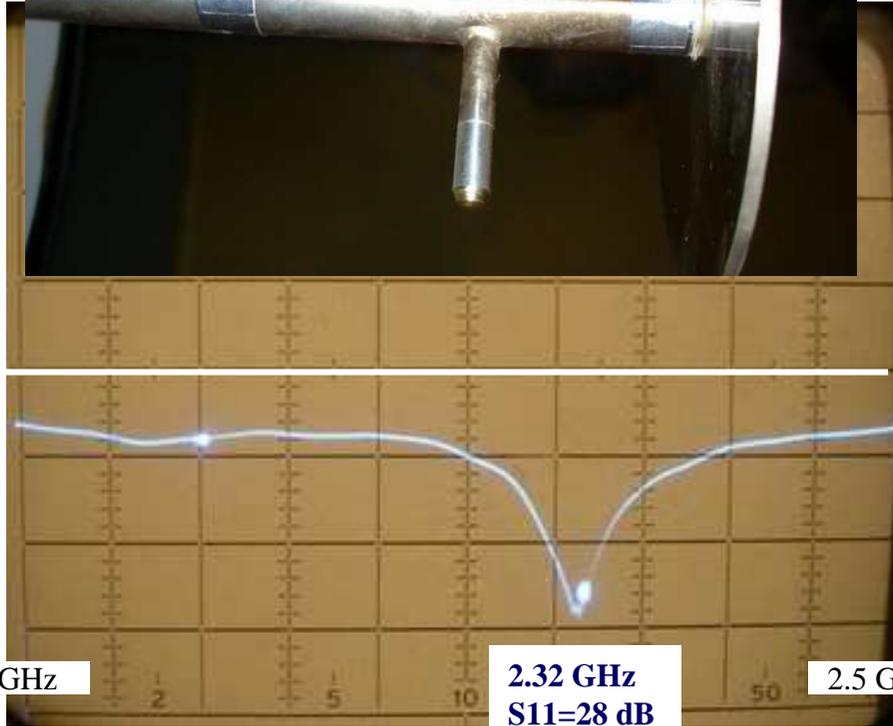
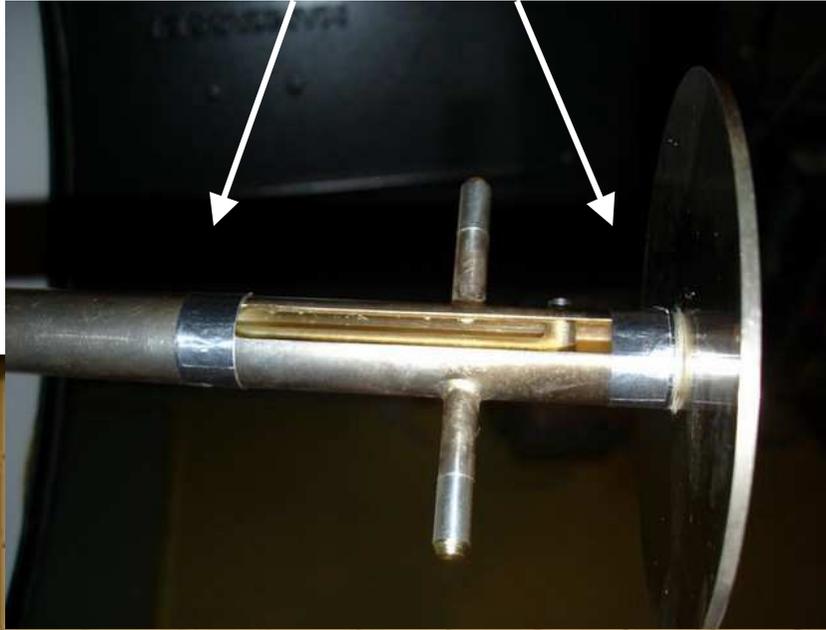
Parabole à l'origine $\phi 600$ mm

Centrage d'origine à 2.009 GHz



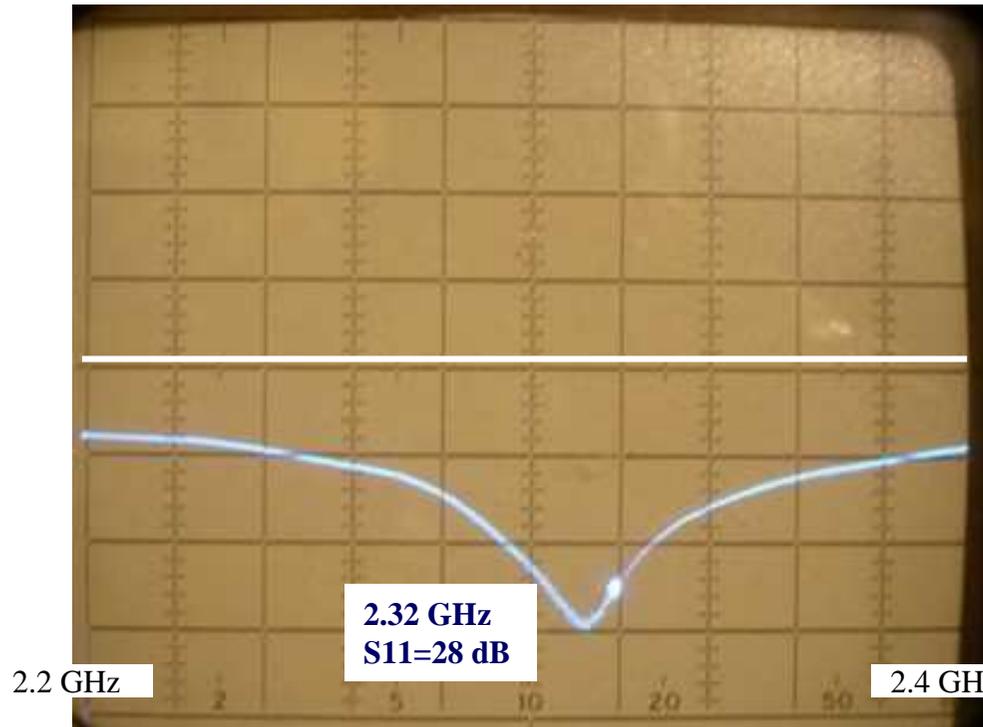
Parabole transformée

Réadapatation à 2.32 GHz avec scotch alu : mesures de 2 à 2.5 GHz



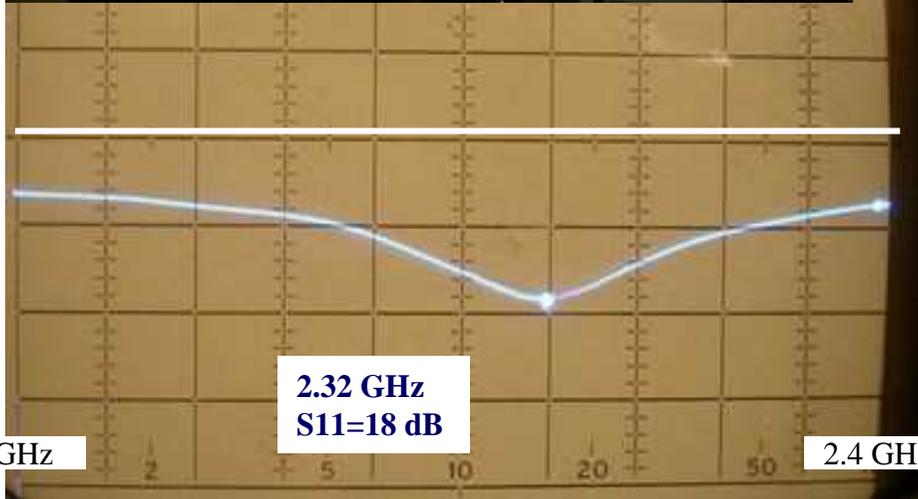
Parabole transformée

Transformation avec scotch alu : mesures zoomées de 2.2 à



Parabole transformée

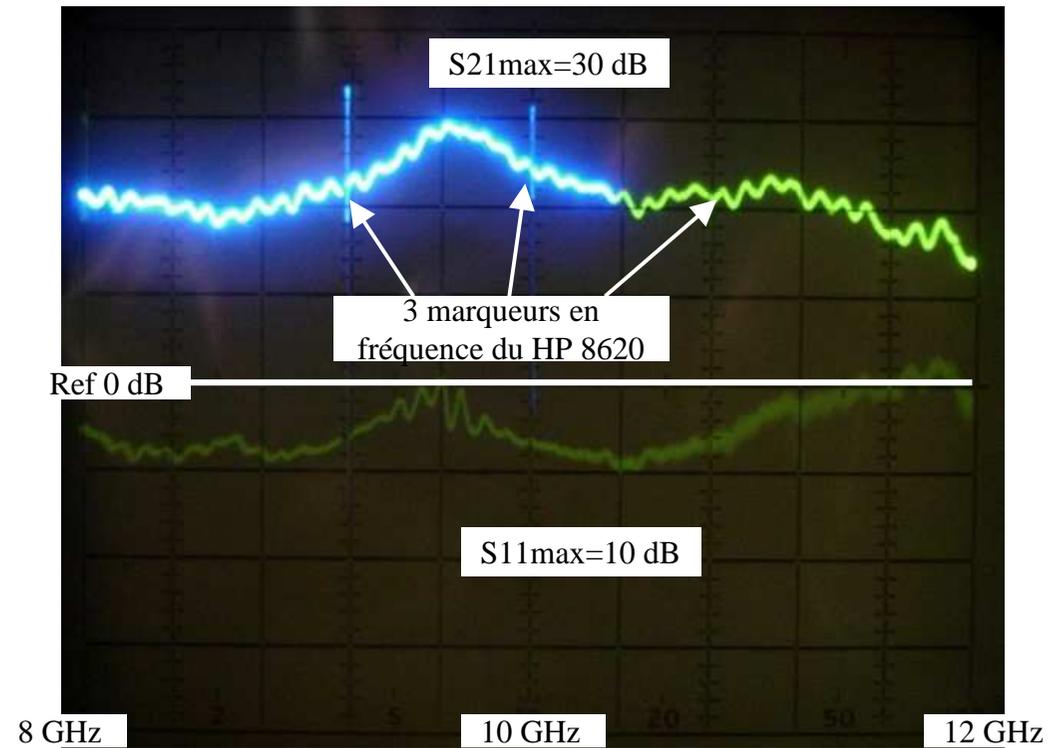
Effet du radôme plastique sur la bande passante : mesures zoomées de 2.2 à 2.4 GHz



12- Mesures sur « préampli » 10 GHz DB6NT

Mesures sur préampli 10 GHz DB6NT

Au VNA HP 8410



F5DQK Décembre 2009

Analyseur vectoriel HP 8410 – release 4F

Mesures sur préampli 10 GHz DB6NT

Comparaison au scalaire HP 8756a



13- Augmentation de la dynamique de mesure originelle

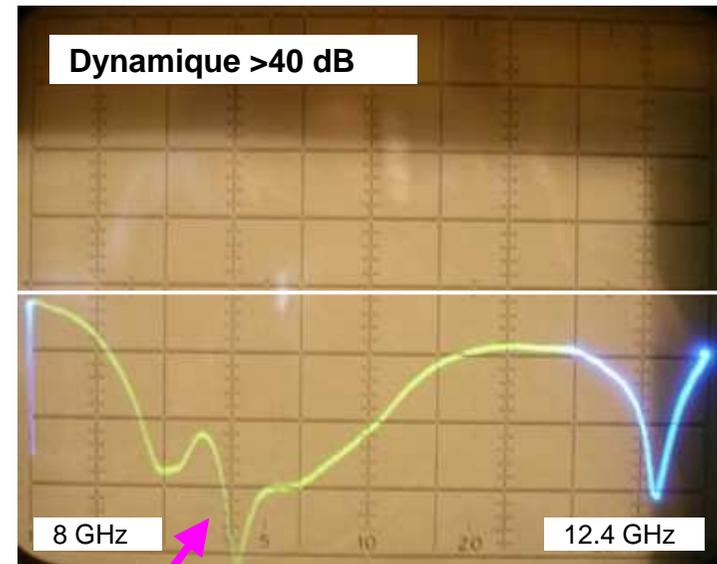
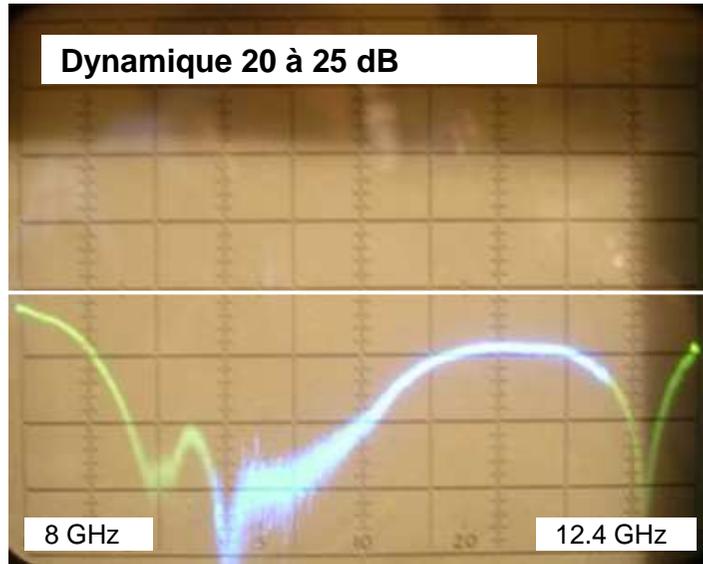
Augmentation de la dynamique de mesure

Exemple : mesure sur charge 50 Ohms WR90



Augmentation de la dynamique de mesure

Display HP 8412 : bouton bandwidth ramené à 0.1 kHz



14- Etablissement de marqueurs de fréquence

Exploiter toute information sans marqueur de fréquence est extrêmement pénible

Essais réalisés à partir des sweeps :

- HP 8620
- HP 8350

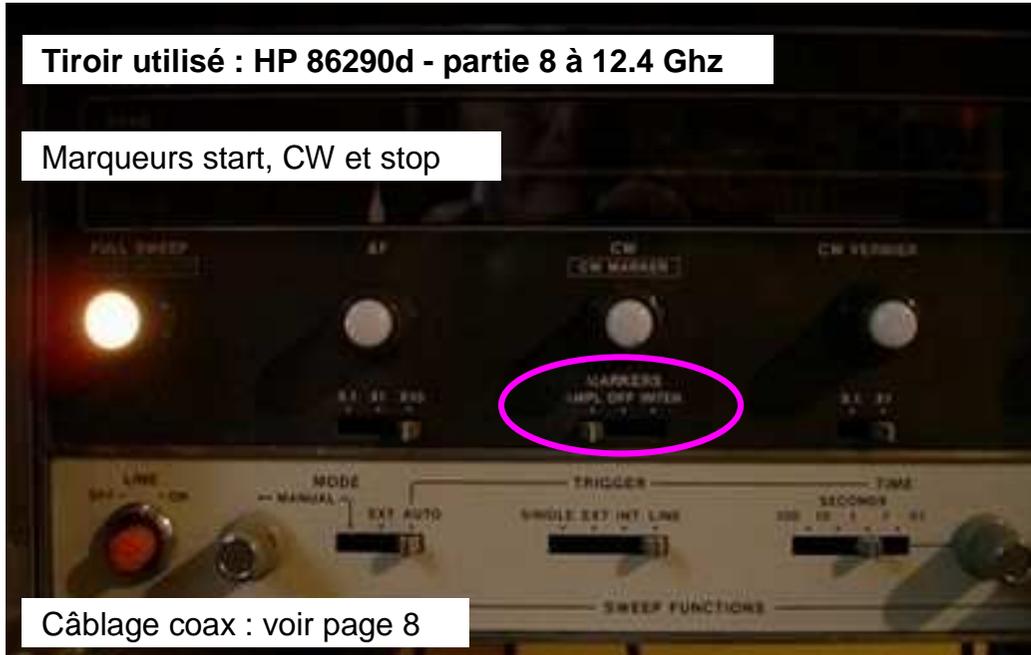
Résultats obtenus sur les displays magnitude HP 8412 et polaire HP 8414

Marqueurs de fréquence avec sweep HP 8620

a/ full sweep : génération de max 3 marqueurs

Tiroir utilisé : HP 86290d - partie 8 à 12.4 Ghz

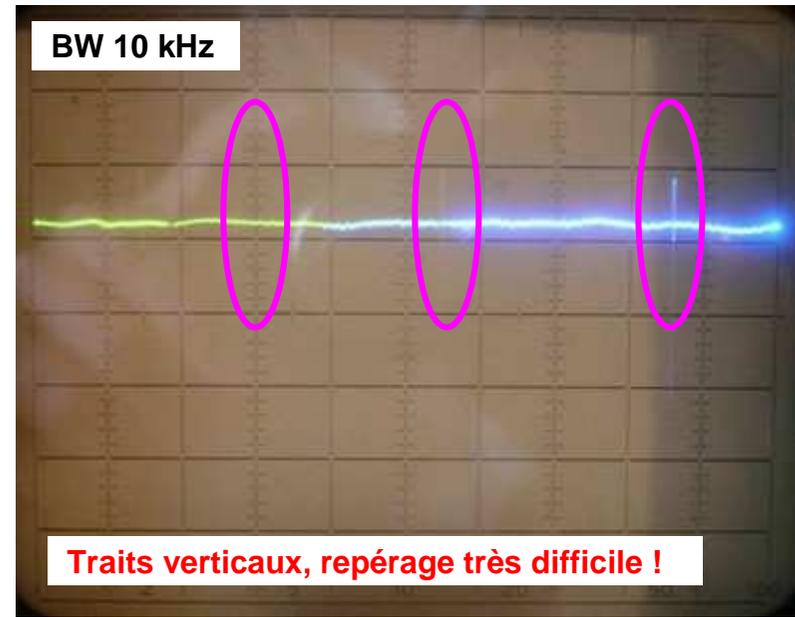
Marqueurs start, CW et stop



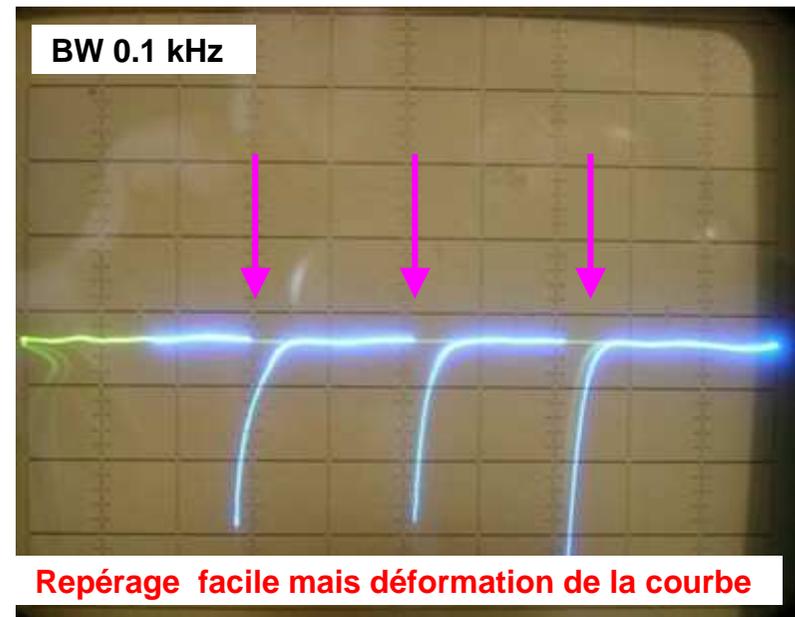
Câblage coax : voir page 8



Display HP 8412



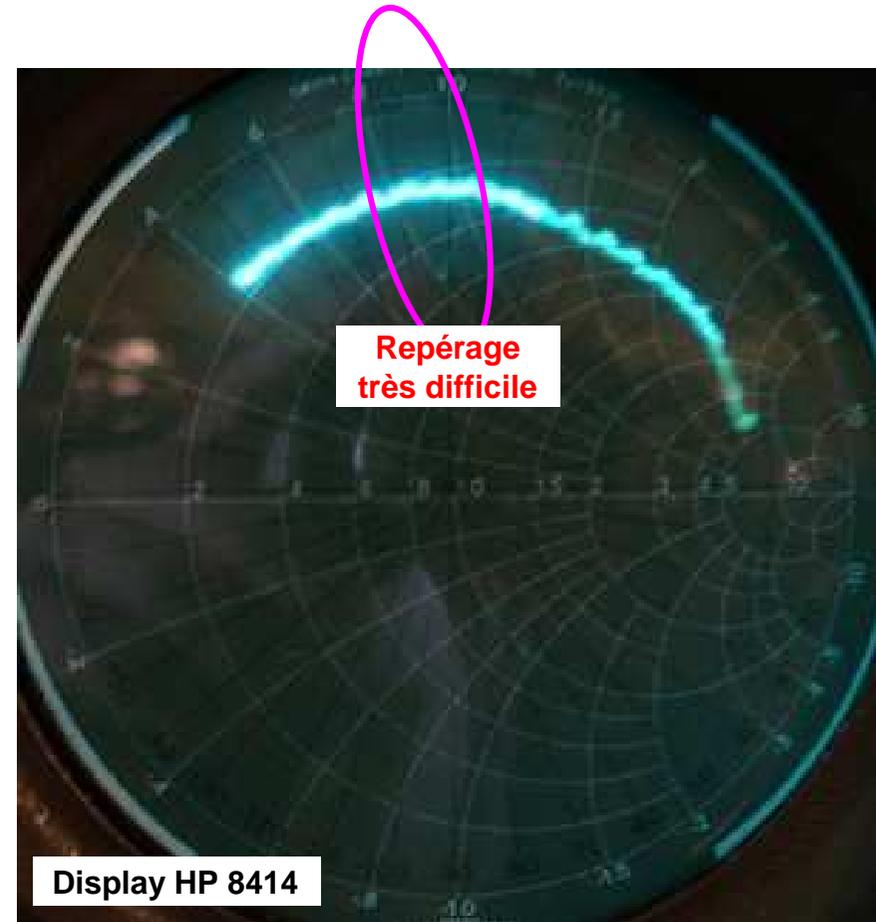
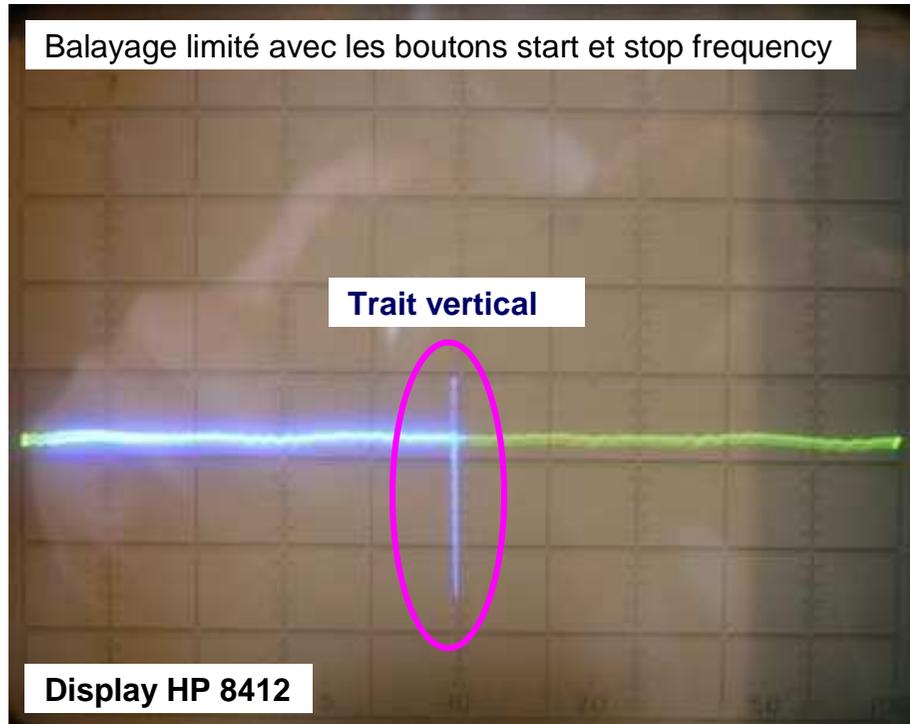
Traits verticaux, repérage très difficile !



Repérage facile mais déformation de la courbe

Marqueurs de fréquence avec sweep HP 8620

b/ marker sweep : génération d'un seul marqueur avec le bouton CW marker



Marqueurs de fréquence avec sweep HP 8350

Câblage des 2 cordons BNC

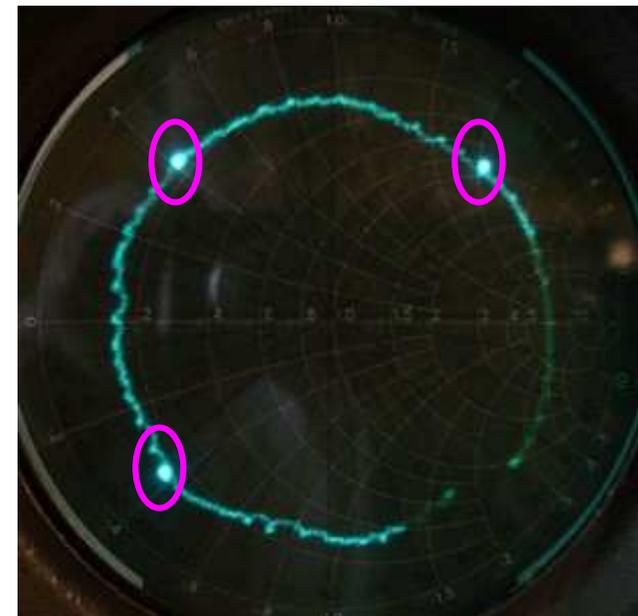
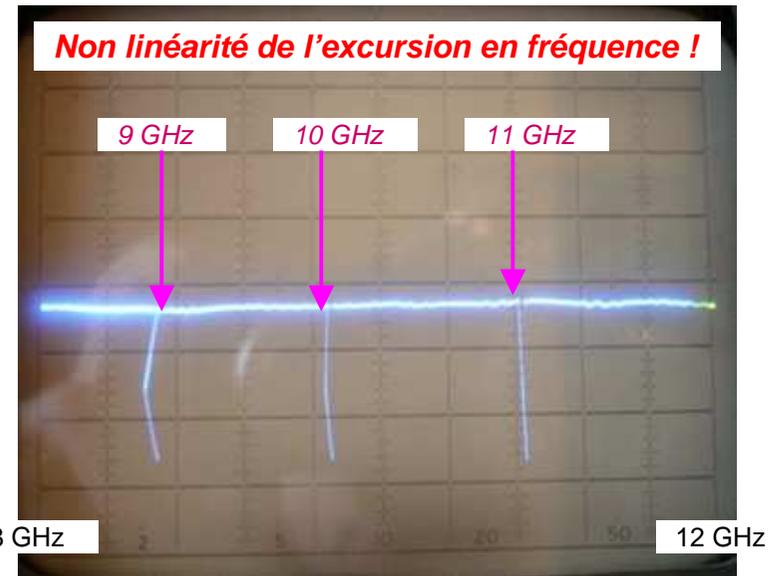
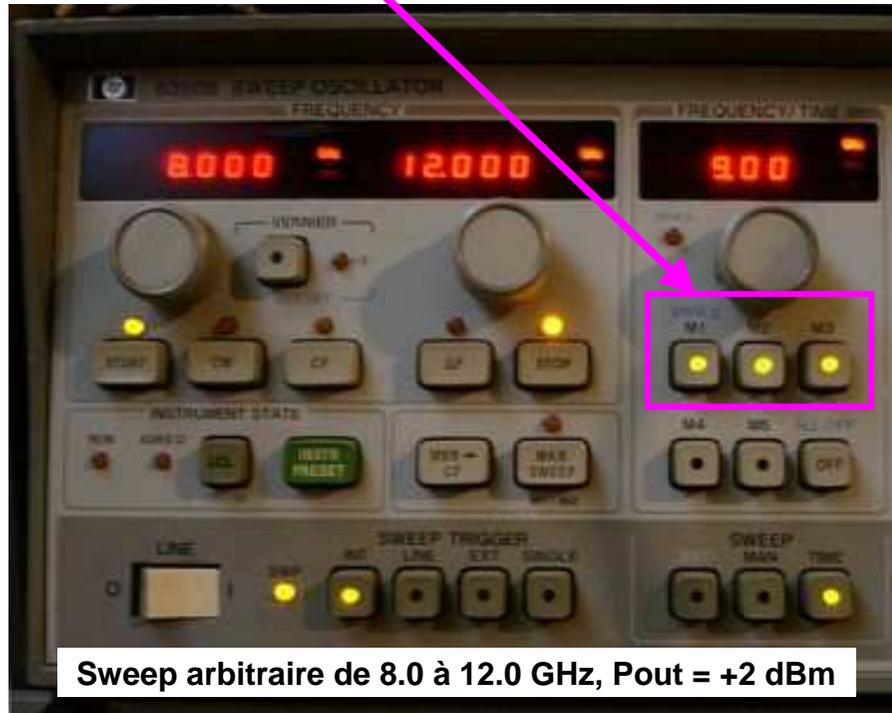


Un seul coax branché entre sweep et polaire augmente l'intensité des points de marquage sur celui-ci !

Marqueurs de fréquence avec sweep HP 8350

Avec tiroir 2 à 20 GHz (5 marqueurs au choix)

Génération de 3 marqueurs à respectivement 9, 10 et 11 GHz



15- Conclusion

Conclusion

Conclusion

- Outil pédagogique essentiel permettant d'appréhender les générations suivantes avec le « know-how » adéquat
- Le rajout de marqueurs depuis le sweep est indispensable pour indiquer la fréquence exacte de travail.
- La précision des mesures est relativement correcte si la bande de travail n'est pas trop importante (<2 GHz)
- Le « demi-pont » HP 8743 effectue les mesures de S21 et S11 dans un sens (le sens le plus utile).
- La mesure de préamplis doit s'effectuer dans leur zone linéaire. Le S21 sera mesuré à l'aide d'un atténuateur de 20 dB minimum à son entrée. Le S11 se mesurera directement après calibration
- Le « pont entier » HP 8746 évite cette opération grâce à la décade d'atténuateurs 0-70 dB insérée en amont
- Attention au bon suivi en fréquence du mélangeur harmonique HP 8411a (verrouillage)

Marqueurs en fréquence : OK avec sweep HP 8350, pénibles avec sweep HP 8620 !

Sincères remerciements à Jacques F6AJW et Jeff F1PDX sans qui absolument rien n'aurait pu être possible

Littérature et références

- Fundamental principles of Vector Network Analysis
<http://www.ece.unh.edu/courses/ece758/Lab%20Resources.htm>
- **HP Application note 117-1 : Microwave Network Analyser Applications**
- Site de F5ZV (en français) simplement expliqué et parfaitement illustré – un véritable « bijou »
<http://pagesperso-orange.fr/f5zv>
- Site de F4DAY : <http://pagesperso-orange.fr/jf.fourcadier/hyperfrequences/HP8410/analyseur.htm>
- Site de Denis F6CRP : <http://pagesperso-orange.fr/f6crp/>
- Cours sur l'abaque de Smith : <http://pagesperso-orange.fr/f6crp/ba/smith.htm>